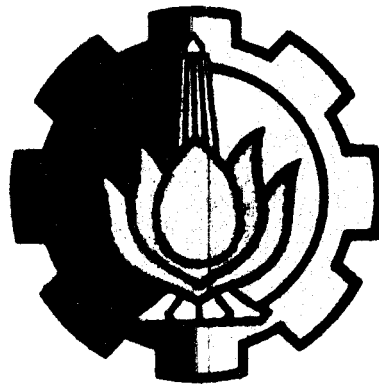


3100096007320

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	20 SEP 1994
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	2640

# STUDI KARAKTERISTIK CROSSTALK PADA JARINGAN PELANGGAN LOKAL

## TUGAS AKHIR



RSE  
621.385  
KWS  
s-1  
1004

Oleh :



MILIK PERPUSTAKAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH - NOPEMBER

YETTY KUSUMAWATI

288 220 1100

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

1994

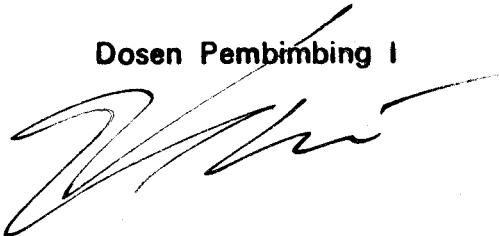
**STUDI KARAKTERISTIK CROSSTALK  
PADA JARINGAN PELANGGAN LOKAL**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik Elektro  
Pada  
Bidang Studi Teknik Komputer  
Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
SURABAYA**

**Mengetahui / Menyetujui**

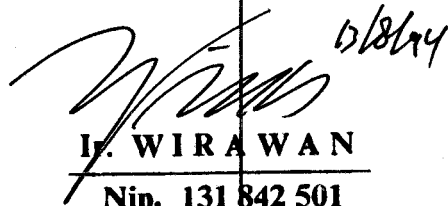
**Dosen Pembimbing I**



**Ir. HANG SUHARTO, M.Sc.**

**Nip 130 520 753**

**Dosen Pembimbing II**

 15/8/94

**Ir. WIRAWAN**

**Nip. 131 842 501**

**SURABAYA  
AGUSTUS, 1994**

## Abstrak

Digitalisasi jaringan lokal merupakan tujuan berikutnya dari penerapan ISDN di Indonesia, karena pada dasarnya kemampuan mendukung akses dasar ISDN sangat tergantung pada kualitas jaringan lokal. Untuk itu perlu diadakan penelitian dan uji coba pengukuran di lapangan sebagai langkah awal pelaksanaan ISDN. Pada dasarnya pengukuran dimaksudkan untuk mengetahui kondisi saluran secara keseluruhan, seberapa jauh dapat dipakai untuk menyalurkan sinyal digital.

Salah satu sumber utama penyebab derau pada jaringan kabel lokal sehingga menurunkan kualitas sinyal adalah *crosstalk*. *Crosstalk* yaitu terjadinya lompatan energi dari satu urat kabel ke urat kabel yang lain yang bisa terjadi dalam kabel yang sama ataupun antar kabel. Dua tipe *crosstalk* yaitu FEXT dan NEXT.

Dalam tugas akhir ini dibahas seberapa jauh pengaruh *crosstalk* terhadap kualitas penampilan sinyal digital serta cara pencegahannya *crosstalk* di saluran pelanggan lokal. Unjuk kerja *crosstalk* dinyatakan dengan bit error rate (BER) dimana besar BER merupakan konversi dari perbandingan daya sinyal output dengan derau total yang terjadi sepanjang saluran transmisi (S/N).

Dari hasil pengukuran dan analisa pengukuran diperoleh S/N pada jaringan kabel lokal memenuhi kriteria untuk BER minimum  $10^{-6}$  yang ditetapkan, yaitu  $S/N > 16.64$  dB untuk frekuensi penyaluran 60 KHz dan  $S/N > 16.74$  dB untuk frekuensi penyaluran 80 KHz. Ini berarti bahwa kabel pada jaringan lokal dapat dipakai untuk penyaluran ISDN dengan format akses dasar berkecepatan 144 kbps.

~ \*\*\* ~

## **Rata Pengantar**

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena dengan rahmat dan ridhlo-Nya, Alhamdulillah, penyusun dapat menyelesaikan Tugas Akhir berjudul :

### **STUDI KARAKTERISTIK CROSSTALK PADA JARINGAN PELANGGAN LOKAL**

Semoga tugas akhir ini tidak hanya dipergunakan untuk melengkapi persyaratan memperoleh gelar sarjana Teknik Elektro pada bidang studi Teknik Telekomunikasi - Jurusan Teknik Elektro - Fakultas Teknologi Industri - Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya, melainkan hendaknya dapat dikembangkan lebih lanjut guna memenuhi tuntutan akan perkembangan ilmu dan teknologi dalam masyarakat.

Surabaya, Juli 1994

Penyusun

## UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan terselesainya tugas akhir ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih dan penghormatan yang sebesar-besarnya khususnya kepada :

1. Ibunda tercinta atas segala jerih payah, pengorbanan dan kasih sayang yang tulus.
2. Bapak Ir. Hang Suharto, M.Sc. selaku dosen pembimbing I
3. Bapak Ir. Wirawan selaku dosen pembimbing II.
4. Bapak Ir. M Aries Purnomo selaku koordinator bidang studi teknik Telekomunikasi.
5. Dr. Ir. Moch Salehudin, M.Eng.Sc selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro.
6. Bapak-bapak di bagian Dinas Luar dan bagian Transmisi STO Kebalen.
7. Bapak-bapak dan ibu dosen Teknik Elektro.
8. Kakak-kakak dan adik-adik tersayang yang telah memberi dorongan moral semangat dan kasih sayang yang tak ternilai.
9. Keluarga Bapak Suparto Brata atas segala fasilitas, dorongan dan kasih sayang.
10. Seluruh staf jurusan Teknik Elektro yang membantu terselesainya tugas akhir ini.
11. Rekan-rekan mahasiswa teknik Elektro yang telah memberikan dorongan sehingga terselesainya Tugas Akhir ini.

Semoga Allah Yang Maha Pengasih membalas budi baik yang telah diberikan.

# DAFTAR ISI

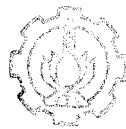
BAB	HALAMAN
JUDUL .....	i
HALAMAN PENGESAHAN .....	ii
ABSTRAK .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH .....	v
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
 BAB I PENDAHULUAN.....	 1
I.1 LATAR BELAKANG.....	1
I.2 PERMASALAHAN DAN PEMBATASAN MASALAH.....	1
I.3 METODOLOGI.....	3
I.4 SISTEMATIKA PEMBAHASAN.....	3
I.5 TUJUAN.....	4
I.6 RELEVANSI.....	5
 BAB II JARINGAN TRANSMISI KABEL .....	 6
II.1 STRUKTUR JARINGAN KABEL LOKAL .....	6
II.1.1 Jaringan Kabel Primer .....	6
II.1.2 Jaringan Kabel Sekunder .....	7
II.1.3 Jaringan Kabel Distribusi .....	7
II.1.4 Jaringan Kabel Dalam Rumah .....	8
II.2 SISTEM PENCATUAN JARINGAN KABEL LOKAL .....	8
II.2.1 Sistem Daerah Catu Langsung .....	9
II.2.2 Sistem Daerah Catu Tidak Langsung .....	11
II.2.3 Sistem Kombinasi .....	12
II.3 KLASIFIKASI KABEL PADA JARINGAN LOKAL .....	13
II.4 JARINGAN PENGHUBUNG .....	15
II.4.1 Jaringan Bintang .....	16
II.4.2 Jaringan Mata Jala .....	16
II.5 KARAKTERISTIK KABEL .....	18
II.5.1 Parameter Primer Kabel Setangkup .....	19
II.5.1.1 Tahanan Seri .....	20
II.5.1.2 Konduktansi Paralel .....	23
II.5.1.3 Induktansi Seri .....	24

IV.5.3 BER vs S/N Untuk Kode 4B / 3T .....	77
<b>BAB V PENCEGAHAN DAN PERBAIKAN CROSSTALK .....</b>	<b>81</b>
V.1 PERANCANGAN KABEL JARINGAN LOKAL .....	81
V.1.1 Konstruksi Kabel .....	81
V.1.2 Perhitungan Urat Kabel .....	83
V.1.3 Pemilihan Diameter Penampang Konduktor .....	84
V.1.4 Bahan Isolasi .....	85
V.2 METODA TRANSMISI FULL DUPLEKS .....	87
V.2.1 Pemisahan Frekuensi .....	87
V.2.2 Pemisahan Waktu .....	88
V.2.3 Echo Cancellation .....	89
V.3 PENYILANGAN URAT KABEL (TRANSPOSISI).....	90
V.4 PEMBEBANAN PADA SALURAN DUA KAWAT .....	92
V.5 RANGKAIAN PHANTOM .....	94
V.6 PENANGGULANGAN CROSSTALK PADA SALURAN TRANSMISI	95
V.6.1 Pemeriksaan Kabel. ....	96
V.6.2 Penyediaan Kanal Cadangan .....	97
<b>BAB VI PENUTUP.....</b>	<b>97</b>
VI.1 KESIMPULAN.....	97
VI.2 SARAN-SARAN.....	100
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>101</b>
1. LAMPIRAN A     GRAFIK TAHANAN, INDUKTANSI DAN REDAMAN SEBAGAI FUNGSI FREKUENSI	
2. LAMPIRAN B     GRAFIK NEXT DAN FEXT SEBAGAI FUNGSI FREKUENSI	
3. LAMPIRAN C     TABEL ERROR FUNCTION GAUSSIAN	
4. LAMPIRAN D     USULAN TUGAS AKHIR	
5. LAMPIRAN E     DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

## DAFTAR GAMBAR

GAMBAR	HALAMAN
2.1 SKEMA DAERAH CATU LANGSUNG.....	9
2.2 SKEMA SISTEM RUMAH KABEL .....	11
2.3 SKEMA JARINGAN LOKAL KOMBINASI .....	12
2.4 SKEMA JARINGAN KABEL TELEKOMUNIKASI.....	13
2.5 JARINGAN BINTANG.....	17
2.6 JARINGAN MATA JALA.....	17
2.7 KOMBINASI JARINGAN BINTANG DAN MATA JALA	18
2.8 TAHANAN SERI.....	20
2.9 KONDUKTANSI PARALEL.....	23
2.10 INDUKTANSI SERI.....	24
2.11 PENGHANTAR SETANGKUP.....	25
2.12 KAPASITANSI PARALEL.....	27
2.13 KAPASITANSI DARI EMPATAN BINTANG DENGAN URAT-URAT KABEL 1, 2, 3 DAN 4 .....	28
2.14 POTONGAN ELEMENTER SALURAN TRANSMISI.....	29
2.15 BENTUK GELOMBANG HDB-3.....	40
3.1 DISTRIBUSI REDAMAN DALAM SALURAN.....	46
3.2a KEMIRINGAN BENTUK PULSA .....	56
3.2b INTERFERENSI INTERSIMBOL RELATIF.....	56
3.3 CROSSTALK ANTARA DUA PENGHANTAR SETANG - KUP.....	51
3.4 TEGANGAN YANG MUNCUL PADA DUA PENGHAN- TAR SETANGKUP.....	58
4.1 RANGKAIAN PENGUKURAN NEXT.....	64
4.2 RANGKAIAN PENGUKURAN FEXT.....	65
4.3 DISTRIBUSI AMPLITUDO CACAT SINYAL.....	74
4.4 DISTRIBUSI AMPLITUDO CACAT SINYAL TERNER....	76
5.1 TIPE-TIPE QUAD.....	82
5.2 GRAFIK $f(\sigma_n, m)$ TERHADAP JUMLAH SISTEM (m).....	84
5.3 PEMISAHAN FREKUENSI.....	88
5.4 PEMISAHAN WAKTU.....	89
5.5 METODE TRANSPOSISI SALURAN.....	91
5.6 GRAFIK SALURAN TERBEBAN.....	92
5.7 PERBANDINGAN KARRAKTERISTIK SALURAN .....	93





## DAFTAR TABEL

### TABEL

### HALAMAN

2-1	TAHANAN INDUKTANSI DAN REDAMAN PADA DIA - METER 0,4 mm.....	32
2-2	TAHANAN INDUKTANSI DAN REDAMAN PADA DIA - METER 0.6 mm.....	33
2-3	PEMAKAIAN KODE HDB-3.....	39
2-4	PENYANDIAN 4B/3T DENGAN 2 MODUS.....	42
2-6	FREKUENSI PENYALURAN UNTUK SINYAL DIGITAL DENGAN FORMAT BIPOLAR NRZ, AMI/HDB-3 DAN 4B/3T .....	44
3-1	NEXT SEBAGAI FUNGSI FREKUENSI PADA DIAMETER KABEL BERBEDA .....	66
3-2	FEXT SEBAGAI FUNGSI FREKUENSI PADA DIAMETER KABEL BERBEDA.....	67
4-1	KONDISI KABEL DI SEMARANG .....	74
4-2	HASIL PENGUKURAN REDAMAN NEXT DAN FEXT DI SEMARANG .....	76
4-3	DAYA DERAU TOTAL .....	79
4-4	DAYA DERAU TOTAL UNTUK SEMARANG .....	80
4-5	PERBANDINGAN DAYA YANG DITERIMA DENGAN S/N DI SEMARANG .....	82
4-6	PANJANG KABEL MAXIMUM.....	83
4-7	PERBANDINGAN SNR DARI KODE BIPOLAR , AMI / HDB3 DAN 4B/3T.....	
5-1	KARAKTERISTIK SEPASANG KABEL YANG SEIMBANG.....	82
5-2	TEBAL SELUBUNG POLIETILEN .....	86
5-3	PERSYARATAN KABEL ISOLASI POLIETILEN .....	86

# BAB I

## PENDAHULUAN

---

### I.1 LATAR BELAKANG

Perkembangan masyarakat yang diikuti oleh perkembangan teknologi akan mempengaruhi perubahan dan peningkatan hubungan dan cara berkomunikasi. Oleh karena itu perkembangan masyarakat akan selalu meningkat dengan adanya kemudahan-kemudahan yang ditawarkan oleh teknologi, sehingga terjadi proses saling tarik menarik antara kebutuhan masyarakat dan teknologi. Indonesia merupakan salah satu negara berkembang, di mana telekomunikasinya menunjukkan arah yang positif ditinjau dari segi-segi penambahan kapasitas, variasi jenis pelayanan, peningkatan kualitas dan jenis teknologi maju yang digunakan.

Sejalan dengan perkembangan teknologi dalam bidang telekomunikasi maka PT TELKOM sebagai penyelenggara usaha telekomunikasi di Indonesia wajib menyediakan pelayanan dengan sistem yang murah, kapasitas yang tinggi, mutu pelayanan yang tinggi sehingga dapat memenuhi kebutuhan pelayanan telekomunikasi yang lebih luas serta sejalan dengan trend teknologi dan sesuai sasaran di masa depan

Jaringan komunikasi telepon yang ada di Indonesia saat ini khususnya pada jaringan lokal, masih menggunakan sistem analog. Secara bertahap jaringan analog tersebut akan diubah menjadi digital untuk mencapai suatu jaringan yang digital penuh. Bila seluruh jaringan transmisi telah menggunakan sistem digital penuh, maka mutu yang terbaik akan terealisasi. Jaringan pelanggan lokal menuju sentral pada sistem telepon saat ini menggunakan kabel pasangan (2 kawat) harus mampu menyalurkan data digital secara full duplex. Pada teknologi DSL (Digital Subscriber Line) atau jaringan pelanggan lokal agar dapat beroperasi secara full duplex, perlu didesain dengan menggunakan metode-metode :

- ♦ Frekuensi Division Multiplexing (FDM)
- ♦ Time Compression Multiplexing (TCM)
- ♦ Echo Cancellation (EC)

Dengan adanya perkembangan teknologi perkembangan saluran pelanggan digital diharapkan dapat merealisasikan dasar-dasar akses interface dan operasi jaringan yang direncanakan.

Agar ISDN dapat dicapai secara efisien, efektif dan dinamis maka perlu disusun strategi yang fleksibel dan mudah disesuaikan terhadap kondisi yang sudah ada, sehingga setiap perubahan yang terjadi tidak harus mengubah konsep strategi secara keseluruhan.

## **I.2 PERMASALAHAN DAN PEMBATASAN MASALAH**

ISDN merupakan suatu jaringan digital yang akan memberikan pelayanan dengan kualitas penerimaan yang lebih baik. Dalam tugas akhir ini akan dibahas gangguan-gangguan yang dapat menurunkan kualitas penerimaan pada jaringan pelanggan lokal. Permasalahan di sini dibatasi pada pembahasan crosstalk sebagai sumber dominan penurunan kualitas jaringan lokal pelanggan menggunakan kabel pasangan (2 kawat).

## **I.3 METODOLOGI**

Studi tentang karakteristik crosstalk pada saluran pelanggan dan pengaruhnya ini bersifat studi literatur dan pengolahan data. Adapun literatur-literatur yang dipakai diambil dari buku-buku dan makalah teknik Telekomunikasi dan diperkuat dengan Rekomendasi CCITT. Sedangkan data-data diperoleh dari instansi yang berwenang sebagai pengelola jasa telekomunikasi yaitu PT.TELKOM.

Selanjutnya dari data yang ada akan dianalisa dan dibahas berdasar literatur yang dipakai sehingga didapat suatu kesimpulan yang dapat dipertanggung jawabkan keabsahannya.

## **I.4 SISTEMATIKA PEMBAHASAN**

Untuk mendapatkan pembahasan yang sistematis pada Tugas Akhir ini, maka pembahasannya disusun dalam bab-bab sebagai berikut :

### **BAB I PENDAHULUAN**

Mengetengahkan dasar pemikiran dan batasan serta hasil yang ingin dicapai.

### **BAB II JARINGAN TRANSMISI KABEL**

Mendeskripsikan sistem jaringan pelanggan lokal dan menjelaskan karakteristik kabel pasangan (2 kawat) yang dipergunakan dalam jaringan lokal pelanggan, sebagai langkah awal perencanaan digitalisasi jaringan lokal.

### **BAB III CROSSTALK PADA SALURAN TRANSMISI**

Memuat penjelasan tentang penyebab terbangkitnya crosstalk pada sistem transmisi kabel pasangan menggunakan 2 kawat dan tipe-tipe crosstalk.

### **BAB IV PENGUKURAN DAN ANALISA PENGUKURAN**

Dalam bab ini dipaparkan cara pengukuran, hasil pengukuran serta analisa dari hasil pengukuran tersebut sebagai kemungkinan diterapkannya digitalisasi pada jaringan pelanggan lokal

### **BAB V PENCEGAHAN DAN PENANGGULANGAN CROSSTALK**

Menganalisa cara pencegahan dan cara-cara penanggulangan crosstalk menggunakan metode perhitungan maupun grafis.

## **BAB VI PENUTUP**

Berisi kesimpulan dari pembahasan bab-bab yang mendahuluinya dan juga saran bagi peningkatan kualitas sistem transmisi.

### **I.5 TUJUAN**

Mengetahui karakteristik crosstalk yang terdapat pada saluran pelanggan lokal sebagai masalah utama penyebab penurunan kualitas saluran dan bagaimana cara-cara pencegahannya dalam rangka persiapan pelaksanaan ISDN.

### **I.6 RELEVANSI**

Diharapkan hasil studi tentang karakteristik crosstalk pada saluran pelanggan lokal ini dapat dipergunakan sebagai bahan pertimbangan maupun bahan masukan dalam rencana pengembangan dan penerapan ISDN pada jaringan telepon lokal.

## **BAB II**

# **JARINGAN TRANSMISI KABEL**

---

### **II.1 STRUKTUR JARINGAN KABEL LOKAL**

Jaringan kabel lokal yang digunakan untuk menghubungkan sentral dengan pelanggan dapat dibedakan dalam :

- Jaringan Kabel Primer
- Jaringan Kabel Sekunder
- Jaringan Kabel Distribusi

#### **II.1.1 Jaringan Kabel Primer**

Kabel primer merupakan kabel berkapasitas besar (200 - 2400) yang menghubungkan MDF dengan terminal rumah kabel utama RK atau rumah kabel sekunder RKS (pada sistem catu tidak langsung) atau terminal DP pada sistem catu langsung. Kapasitas maksimum kabel yang diterminasi ke MDF menunjukkan kapasitas sentral tersebut.

### **II.1.2 Jaringan Kabel Sekunder**

Kabel sekunder adalah kabel yang berkapasitas lebih kecil (10 - 200 pasang), dipasang dari terminal rumah kabel (RK) ke terminal Titik Pembagi (DP) Atas Tanah atau Bawah Tanah. Mengingat rumah kabel merupakan titik sambung antara kabel primer dan sekunder, maka kapasitas kabel sekunder maupun primer yang dapat diterminasi tergantung dari jenis RK nya. Adapun jenis RK menurut kapasitasnya adalah :

- RK 800 dengan terminasi primer maksimum 300 pair dan sekunder 400 pair.
- RK 1600 dengan terminasi maksimum primer 600 pair dan sekunder 800 pair.
- RK 2400 dengan terminasi maksimum primer 900 pair dan sekunder 1200 pair.

Pembangunan jaringan sekunder juga harus memperhatikan alokasi nomor pair dan kapasitas serta pembagian pairnya.

### **II.1.3 Jaringan Kabel Distribusi**

Jaringan kabel distribusi merupakan saluran yang dipasang dari terminal DP sampai terminal di rumah pelanggan. Berdasarkan jenis DP yang dihubungkan, jaringan kabel distribusi dibedakan dalam :

- Saluran penanggal ; menghubungkan DP atas tanah dengan terminal blok pelanggan.



- Kabel distribusi ; menghubungkan DP bawah tanah dengan terminal pelanggan.

Pada umumnya saluran penghubung antara DP dengan terminal pelanggan berupa saluran penanggal yang disebut drop wire yang dipakai sesuai standar STEL K-004 menggunakan kawat perentang (suspension wire) dengan urat penghantar tembaga berdiameter 0,6 mm. Selain itu dikenal juga drop wire tanpa kawat penggantung yang memiliki urat kawat brons berdiameter 1,2 mm.

#### **II.1.1.4 Kabel Dalam Rumah (Indoor Cable)**

Merupakan kabel dengan kapasitas satu pasang atau lebih yang dipasang dari titik terminal di rumah pelanggan sampai pada roset pesawat.

### **II.2 SISTEM PENCATUAN JARINGAN KABEL LOKAL**

Sistem jaringan kabel lokal didefinisikan sebagai jaringan kabel yang dipasang dan dipergunakan untuk menghubungkan pesawat pelanggan dengan sentral lokal yang bersangkutan.

Berdasarkan sistem pencatuan jaringan dari sentral ke pesawat pelanggan struktur jaringan lokal dibedakan menjadi tiga sistem, yaitu :

- sistem daerah catu langsung
- sistem daerah catu tidak langsung

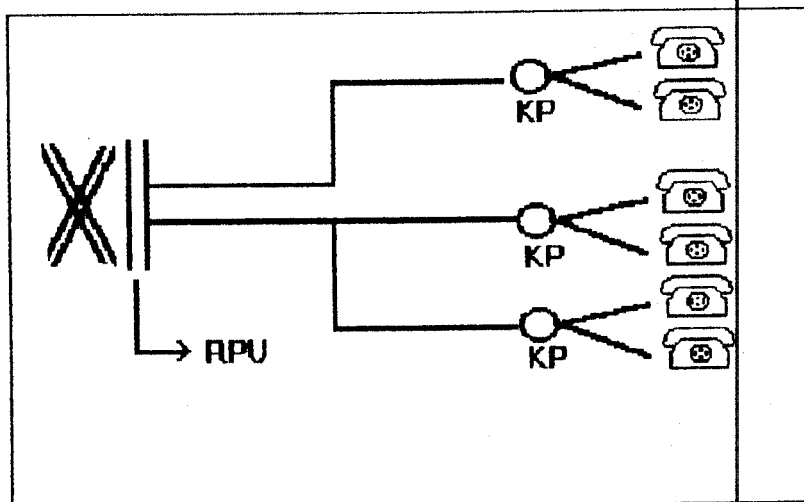
- sistem kombinasi

Pada umumnya suatu jaringan lokal menerapkan ketiga sistem catuan sesuai kondisi daerahnya masing-masing.

### IL2.1 Sistem Daerah Catu Langsung

Pada jaringan pencatuan langsung, pelanggan mendapat catu saluran langsung dari MDF sentral (Main Distribution Frame) melalui kotak pembagi/DP (Distribution Point) terdekat tanpa melewati RK (Rumah Kabel). Jadi seluruh urat pasangan kabel dari DP tersambung secara tetap sepanjang kabel ke terminal MDF yang berlokasi di sentral.

Skema pencatuan pada sistem ini dapat dilihat pada gambar 2.1.



GAMBAR 2.1<sup>1</sup>

### SKEMA DAERAH CATU LANGSUNG

<sup>1</sup> -----, Pengantar Teknik Jaringan, Pusdiklat Perumtel Witel VII, hal 4

## KETERANGAN :

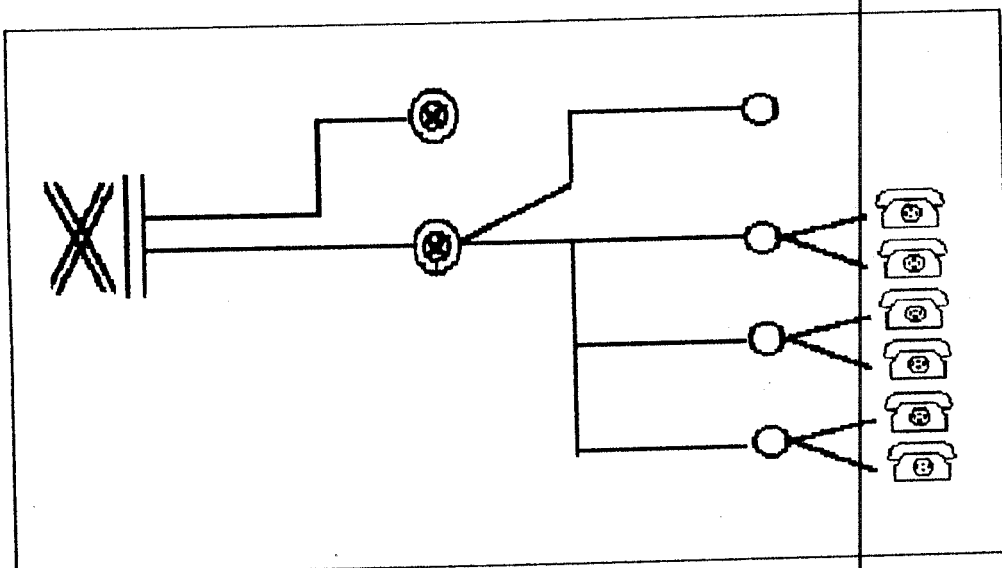
- X** = Sentral
- ||** = MDF (Main Distribution Frame)
- ⊗** = RK (Rumah Kabel)
- = KP/DP (Kotak Pembagi Distribution Point)
- ☎** = Pesawat telepon

Sistem ini lebih sesuai dipakai untuk kota kecil dengan jumlah pelanggan sedikit, sehingga kerugian ekonomis karena saluran cadangan dan jumlah DP dapat diperkecil. Sedangkan bila dipergunakan pada kota besar maka hanya dipakai untuk pelanggan yang berlokasi dekat sentral, kurang lebih berjarak 300-500 m dari sentral. Akan tetapi penyambungan di RK dilakukan tidak tetap dengan menggunakan jumper wire menuju MDF. Karena pencatuannya melalui RK maka sistem ini disebut juga Sistem Rumah Kabel.

Jaringan saluran ini sesuai diterapkan pada jaringan telepon sedang dan besar dengan jumlah pemakaian saluran cukup banyak dan saluran pelanggan yang panjang, sehingga RK dapat diimbangi oleh penghematan pemakaian / penyediaan saluran cadangan. Sistem ini bersifat fleksibel, karena memungkinkan pengembangan atau perluasan jaringan apabila pada penambahan sambungan serta dapat menghemat pemakaian urat kabel.

## II.2.2 Sistem Daerah Catu Tak Langsung

Pada jaringan ini, saluran pelanggan dicatu dari DP terdekat setelah terlebih dahulu dihubungkan ke RK (Rumah Kabel) kemudian diteruskan ke MDF sentral. Penyambungan saluran dari DP ke RK bersifat tetap, seperti pada DCL. Akan tetapi penyambungan di RK dilakukan tidak tetap dengan menggunakan jumper wire menuju



GAMBAR 2.2 <sup>2</sup>

### SKEMA SISTEM RUMAH KABEL

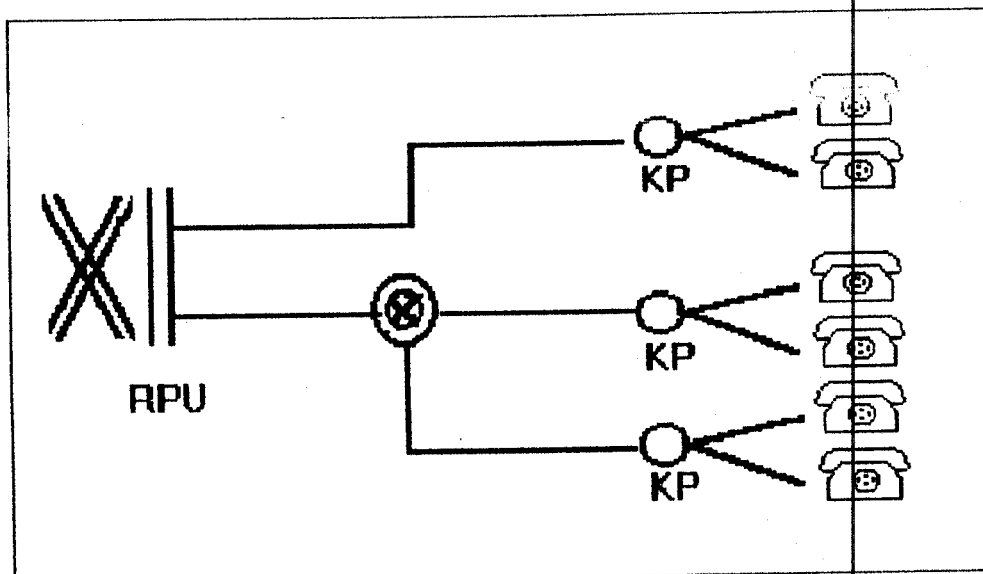
MDF. Karena pencatuannya melalui RK maka sistem ini disebut juga Sistem Rumah Kabel. Saluran ini sesuai bila ditetapkan pada jaringan telepon sedang dan besar sesuai dengan jumlah pemakaian saluran cukup banyak dan saluran pelanggannya panjang, sehingga RK dapat diimbangi oleh penghematan pemakaian/penyediaan saluran

<sup>2</sup> Ibid, hal 5

cadangan. Sistem ini bersifat fleksibel, karena memungkinkan pengembangan atau perluasan jaringan apabila ada penambahan sambungan serta dapat menghemat pemakaian urat kabel.

### II.2.3 Sistem Kombinasi

Sistem ini menerapkan kedua macam cara pencatutan kabel pada suatu jaringan lokal. Dengan sistem kombinasi akan didapat fleksibilitas yang cukup besardengan instalasi yang mudah untuk keperluan pengembangan jaringan. Hanya saja diperlukan perencanaan yang teliti untuk mengalokasikan pencatutan jaringan.



GAMBAR 2.3<sup>3</sup>

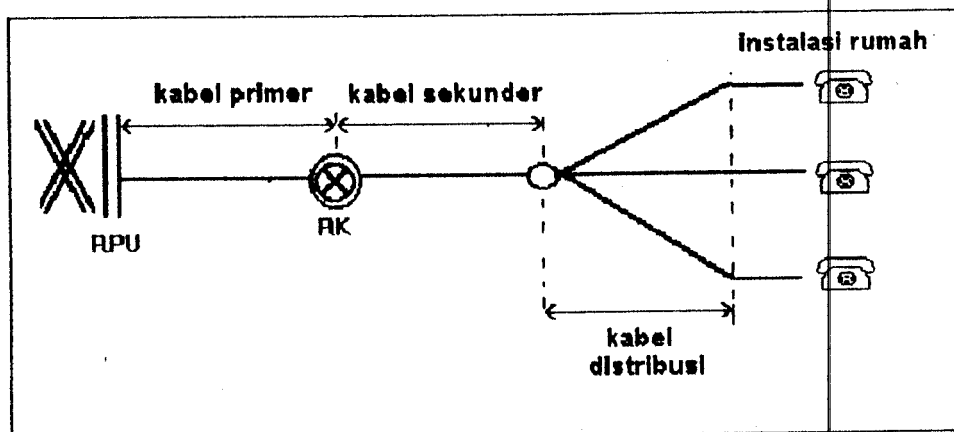
#### SKEMA JARINGAN LOKAL KOMBINASI

<sup>3</sup> Ibid, hal 7

### IL.3 KLASIFIKASI KABEL PADA JARINGAN LOKAL

Jaringan kabel menghubungkan kabel telepon dengan sentral, demikian pula hubungan antar sentral dilakukan dengan menggunakan jaringan kabel sehingga terbentuk alur komunikasi antar pelanggan. Skema jaringan kabel telekomunikasi dapat dilihat pada gambar 2.4.

Bentuk fisik saluran telekomunikasi dapat berupa kawat telanjang, kawat distribusi (Shelf Supporting Distribution Wire) dan kabel. Kabel didefinisikan sebagai kumpulan urat-urat konduktor yang tersusun dalam unit pasangan (pair) atau unit 2 pasangan (quad) yang terdapat dalam sebuah selubung. Kabel telepon dapat diklasifikasikan berdasarkan penggunaannya, lokasi instalasi dan struktur kabelnya.

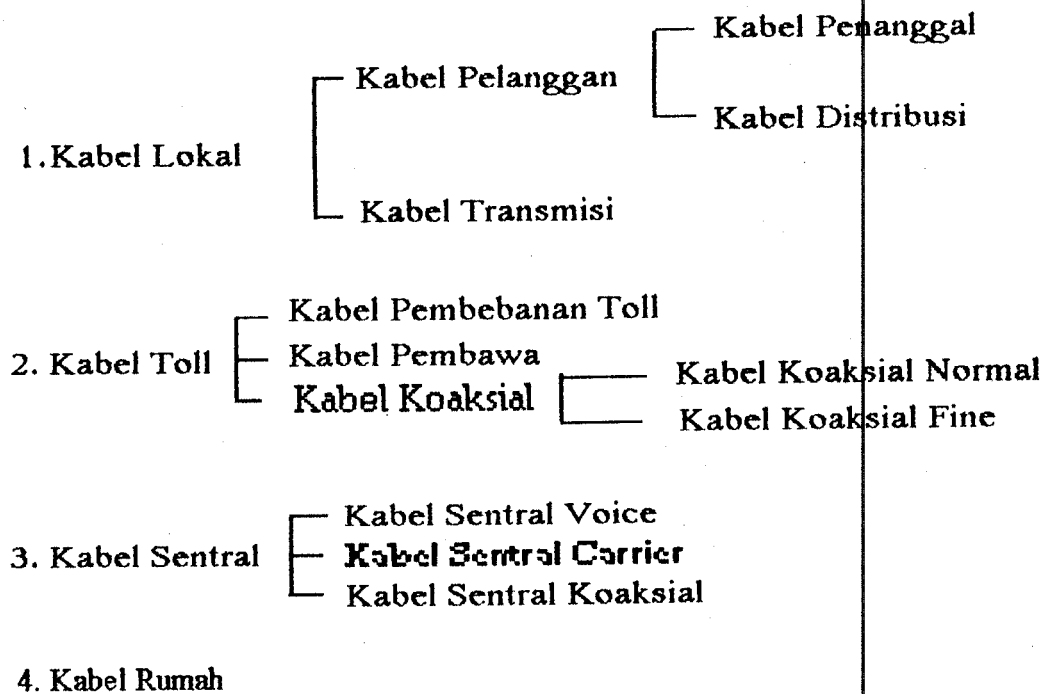


GAMBAR 2.4<sup>4</sup>

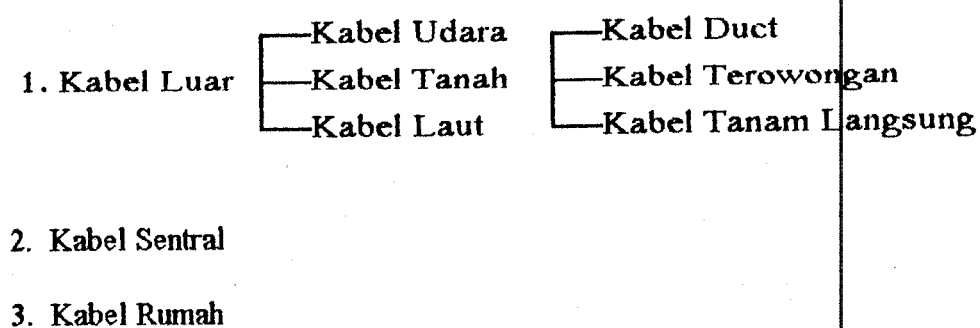
#### SKEMA JARINGAN KABEL TELEKOMUNIKASI

<sup>4</sup> Ibid, hal 11

Berdasarkan penggunaanya, kabel telekomunikasi terbagi menjadi :



Berdasarkan lokasi penempatan kabel (instalasi), maka dapat diklasifikasikan sebagai berikut



Ditinjau dari struktur kabelnya, maka kabel telekomunikasi diklasifikasikan menjadi :

1. Kabel Resistansi Seimbang 

[	Kabel Pair
]	Kabel Quad
2. Kabel Resistansi Tidak Seimbang

Sebagian besar jaringan lokal pada sistem telekomunikasi di Indonesia menggunakan media transmisi kabel pair, yang mengacu pada standar STEL-KABEL (STEL-K) dari PT TELKOM. Pemanfaatan berbagai jenis kabel secara tepat dan benar akan menghasilkan jaringan transmisi kabel yang lancar dan efisien.

#### IL4 JARINGAN PENGHUBUNG (JUNCTION)

Untuk kota-kota besar, biasanya dibangun lebih dari satu sentral telepon lokal (multi exchang area).

Hubungan antar sentral telepon lokal di dalam wilayah kota menggunakan kabel-kabel penghubung yang dinamakan jaringan penghubung / junction. Macam-macam jaringan penghubung yaitu jaringan bintang dan jaringan mata jala.



#### II.4.1 Jaringan Bintang (Star Network)

Sebuah sentral telepon dihubungkan langsung dengan sentral-sentral lain di dalam jaringan lokal tersebut. Pada gambar berikut terlihat ke lima sentral (A1, A2, A3, A4 dan A5) dihubungkan dengan sentral A, yang bertindak sebagai pusat penghubung antar sentral, dan disebut sentral tandem/sentral Toll. Keuntungan jaringan bintang :

- pemasangan jaringan kabel lebih murah
- strukturnya sederhana

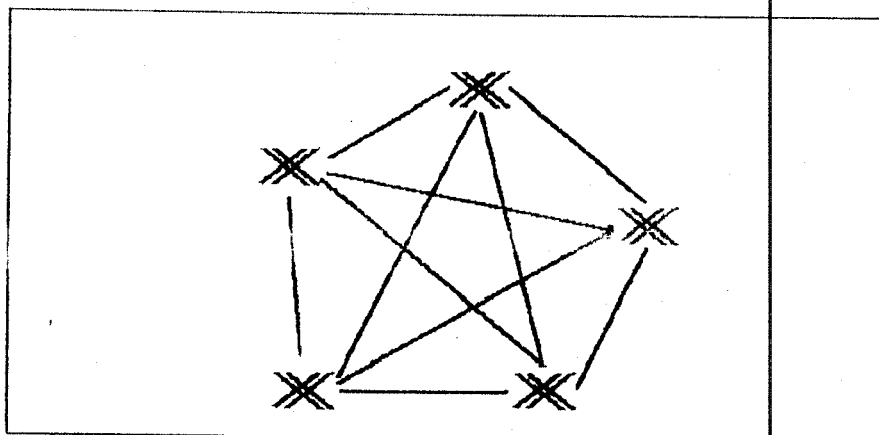
#### II.4.2 Jaringan Mata Jala (Intermeshed Network)

Masing-masing sentral mempunyai hubungan langsung dengan setiap sentral di dalam jaringan tersebut. Untuk  $n$  buah sentral yang dihubungkan dengan jaringan ini diperlukan saluran penghubung sebanyak :

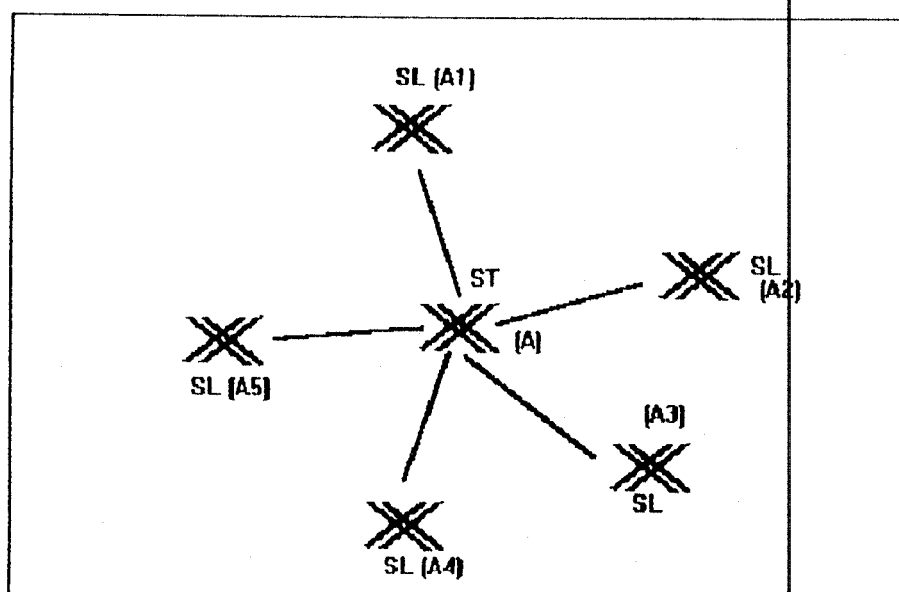
$$N = n(n-1)/2$$

Untuk 5 sentral yang disusun dengan mata jala diperlukan, 10 saluran penghubung. Bila salah satu dari saluran-saluran terganggu, hubungan antar sentral masih tetap dapat berlangsung melalui saluran/sentral lain.

Pada kenyataannya, di lapangan banyak menggunakan kombinasi dari kedua jaringan bintang dan mata jala.

GAMBAR 2.5<sup>5</sup>

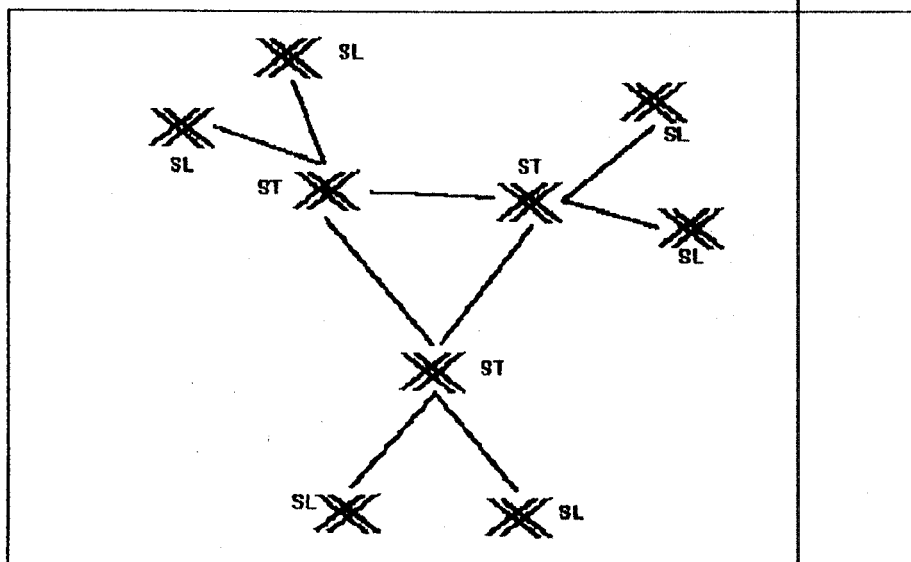
JARINGAN BINTANG

GAMBAR 2.6<sup>6</sup>

JARINGAN MATA-JALA

<sup>5</sup> -----, Pengukuran Jaringan Kabel Lokal, PERUMTEL, hal 27

<sup>6</sup> Ibid, hal 27

GAMBAR 2.7<sup>7</sup>

## KOMBINASI JARINGAN BINTANG DAN MATA JALA

## II.5 KARAKTERISTIK KABEL

Transmisi digital melalui penghantar kabel pada umumnya mempergunakan kabel-kabel yang khusus dibuat untuk "transmisi analog". Untuk transmisi digital kadang-kadang konsep-konsep kabel yang ada harus diseuaikan, misalnya dengan memberi pelindung tambahan untuk bundel- bundel, dengan mengubah jarak puncak spiral kabel (pitch) dari masing-masing urat kabel atau empatan bintang, atau dengan memilih dielektrikum yang lebih homogen (misalnya pada koaksial dengan mempergunakan dielektrikum yang berupa busa dan bukan cincin-cincin yang kecil).

<sup>7</sup> Ibid, hal 28

Perbandingan sinyal desis yang diperlukan pada transmisi digital lebih kecil dari pada transmisi analog, sehingga kabel-kabel tua yang tidak cocok lagi untuk transmisi analog (juga karena bertambahnya gangguan-gangguan dan desis) masih dapat dipergunakan untuk transmisi sinyal- sinyal digital.

Kabel-kabel telekomunikasi dengan penghantar-penghantar kabel dapat dibagi dalam dua kategori :

1. Setangkup
2. Tidak setangkup (kabel koaksial, kawat tunggal)

Perbedaan susunan dan kategori dapat menyebabkan perbedaan crosstalk. Pada frekuensi- frekuensi tinggi (lebih 10 MHz) cenderung dipergunakan kabel koaksial , sementara pada frekuensi-frekuensi rendah (kurang 10 MHz) kabel setangkup yang lebih menguntungkan.

### **II.5.1 Parameter-Parameter Primer Kabel Setangkup**

Kabel setangkup terdiri dari dua kondutor yang digabung, susunannya standar menggunakan konduktor tembaga dan plastik (semacam Polyethylene) atau kayu. Dalam pemasangan kabel multipair, beberapa kabel berpasangan dikelompokkan dalam satu kesatuan atau ditempatkan terpusat menjadi inti kabel. Sebuah selubung yang terbuat dari plastik atau timah hitam dipakai sebagai pelindung inti. Pasangan yang berdekatan digabung pada tingkat yang berbeda untuk mengurangi interferensi

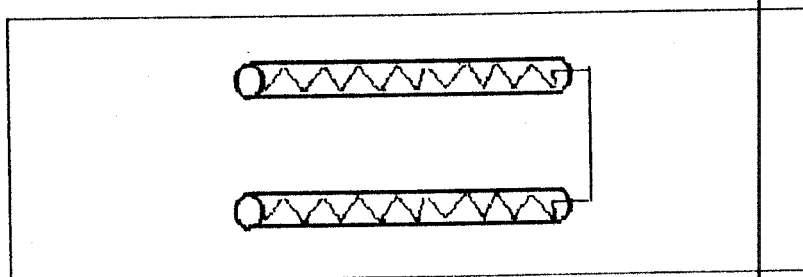
(crosstalk) antar pasangan dalam kabel multipair. Parameter primer yang berpengaruh pada kabel setangkup ini adalah :

- Tahanan seri (R)
- Induktansi seri (L)
- Kapasitansi shunt (C)
- Konduktansi shunt (G)

Masing-masing parameter tersebut diukur untuk tiap satuan panjang kabel. Parameter-parameter primer tersebut ditentukan dari pengukuran dan jarak antara penghantar-penghantar. Dielektrikum di antara penghantar juga berpengaruh.

#### II.5.1.1 Tahanan Seri (R)

Dalam kawat (konduktor) ada tahanan seri yang bila diukur untuk sepanjang 1 km saluran menghasilkan konstanta primer R (ohm/km).



GAMBAR 2.8<sup>8</sup>

TAHANAN SERI

<sup>8</sup> -----, Kabel, PERUMTEL, hal 2

Pada frekuensi-frekuensi yang sangat rendah yang menentukan terutama arus searah :

$$R = \frac{2\rho}{\frac{1}{4}\pi d^2} \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

di mana :

R : tahanan arus searah per satuan panjang urat kabel ganda (Ohm / m)

$\rho$  : tahanan jenis (Ohm . mm<sup>2</sup> / m)

d : diameter kabel (mm)

Pada frekuensi tinggi terdapat tiga faktor pengganggu yaitu :

- a. Efek kulit (skin effect) disebabkan oleh desakan arus di dalam penghantar.
- b. Efek dekat (near-end effect) disebabkan oleh desakan arus dari penghantar yang lain.
- c. Efek selubung (sheat effect) disebabkan oleh desakan arus dari pelindung logam.

#### **a. Efek Kulit**

Medan listrik di dalam penghantar berkurang secara eksponensial ke arah dalam karena desakan arus sebagai akibat dari arus Foucault. Permukaan hantar efektif oleh karenanya diperkecil, hanya bagian luar dari penghantar yang dipergunakan.



Tebal efektif  $\delta$  didefinisikan sebagai tebal di mana medan atau arus berkurang sampai ( $\sim 36,8\%$ ) dari luar ke dalam. Jadi,

$$\delta = \left[ \frac{2\rho}{\omega \mu} \right]^{0.5} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$R_h = R_o \left( \frac{d + \rho}{4 \delta} \right) \quad \text{jika } \delta < d/2 \dots\dots\dots (2.3)$$

di mana :

$\mu$  : permeabilitas dari penghantar

$\rho$  : tahanan jenis.

#### b. Efek Dekat

Desakan arus dari penghantar yang ke arah balik juga mengurangi permukaan hantar efektif. Jika  $s$  adalah jarak antara titik pusat dari penghantar-penghantar, maka

$$R_n = R_o \left( \frac{d}{2s} \right)^2 \cdot 2 \left( \frac{d - 1}{\delta} \right) : \dots\dots\dots (2.4)$$

#### c. Efek Selubung

Tahanan yang hanya disebabkan oleh efek selubung adalah

$$R_m = \frac{1}{dm^2} \left( \frac{d - 1}{\delta} \right) \dots\dots\dots (2.5)$$

dm adalah diameter dari pelindung logam.

Di dalam prakteknya efek ini kebanyakan dapat diabaikan.

Untuk tahanan per urat kabel ganda sekarang berlaku :

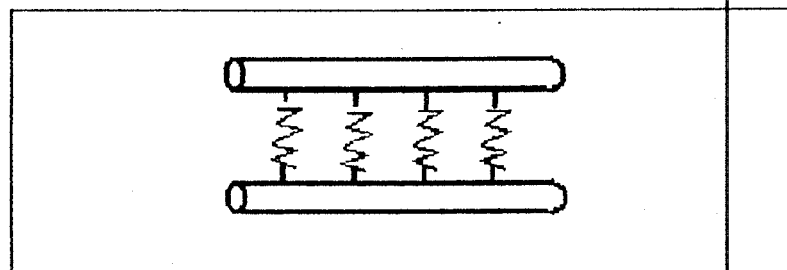
$$R = R_h + R_n + R_m \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

### II.5.1.2. Konduktansi Paralel (G)

Bahan isolasi antara kedua konduktor tak selalu sempurna, tetapi ada kebocoran. Ini menyebabkan timbulnya konduktansi paralel (tahanan bocor), yang bila diukur sepanjang 1 km akan menghasilkan konstanta primer  $G$  (m.mho/km).

$$G = \omega C \operatorname{tg} \phi \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

$\operatorname{tg} \phi$  adalah faktor kerugian dari dielektrikum dengan permitivitas  $\epsilon = \epsilon' - j \epsilon''$ .



GAMBAR 2.9<sup>9</sup>

### KONDUKTANSI PARALEL

<sup>9</sup> Ibid, hal 2



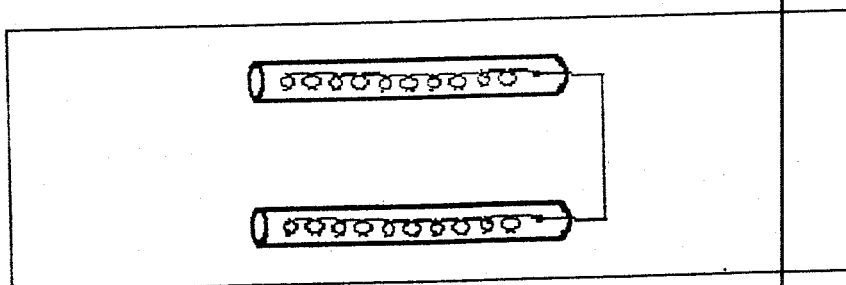
Sekarang  $\tan \phi = \epsilon'' / \epsilon'$ , dimana harga ini untuk bahan-bahan (seperti polyetilen) pada daerah sampai beberapa GHz adalah konstan. Disamping itu  $\tan \phi$  terletak antara  $10^{-3}$  dan  $10^{-5}$ , yang mengakibatkan pengaruh dari  $G$  kecil.

### II.5.1.3. Induktansi Seri (L)

Saluran dialiri arus bolak balik, maka pada saluran tersebut akan bersifat induktif. Dalam kawat tersebut timbul induktansi, yang bila diukur sepanjang satu km menghasilkan konstanta primer  $L$  (m.Henry/km).

Dua faktor yang terakhir berasal dari induktansi dalam dan kebanyakan pada frekuensi-frekuensi tinggi dapat diabaikan.

Induksi ditentukan dari hasil bagi fluks magnet dengan arus dan terdiri dari suatu induksi dalam  $L_i$  (di dalam penghantar) dan suatu induksi luar  $L_u$ . Dengan



GAMBAR 2.10<sup>13</sup>  
INDUKTANSI SERI

<sup>13</sup> Ibid, hal 3

lebih dulu menganggap bahwa efek dekat dapat diabaikan yang diperbolehkan adalah jika jarak antara titik pusat penghantar  $s$  lebih besar dari  $10 \times$  diameter urat kabel, (lihat gambar 2.9) untuk satu urat kabel ganda berlaku:<sup>14</sup>

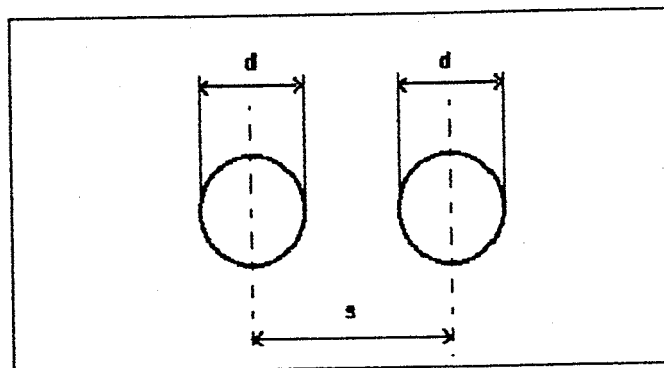
$$L_i = \frac{\mu}{4\pi l} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$L_u = \frac{\mu}{\pi} \ln \left( \frac{2s - d}{d} \right) \dots\dots\dots (2.9)$$

Di sini  $\mu = \mu_r \mu_0$ , dengan  $\mu_0 = 0,4.\pi \text{ mH/km}$ . Biasanya  $\mu_r \sim 1$ .

Bila  $s \gg d$  maka  $L_u \sim \frac{\mu}{\pi} \ln \frac{2s}{d}$ .

$$\text{Induksi total adalah } L = L_i + L_u \dots\dots\dots (2.10)$$



GAMBAR 2.11<sup>15</sup>

#### PENGHANTAR SETANGKUP

<sup>14</sup> Ekkelenkamp, H, opcit hal 105

<sup>15</sup> Loc.cit

$$\text{atau } L = 0,1 + 0,4 \ln (2s/d) \quad (\text{mH/km}) \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

Pada frekuensi-frekuensi tinggi efek dekat juga berpengaruh, sementara induksi dalam disebabkan oleh efek kulit berkurang.

Dengan memperhatikan efek dekat didapat :

$$L_i = \frac{\mu}{4 \pi d} \quad \text{untuk} \quad \frac{\delta}{d} < \frac{1}{2} \quad \dots\dots\dots (2.12)$$

$$L_u = \frac{\mu}{\pi} \ln \left[ \frac{s}{d} + \left( \frac{s^2}{d^2} - 1 \right)^{0.5} \right] \quad \dots\dots\dots (2.13)$$

Induksi dalam pada daerah frekuensi-frekuensi tinggi ( $\delta$  kecil) dapat diabaikan dan biasanya pengaruh selubung dapat diabaikan.

Dengan  $s = 2d$ , pada daerah frekuensi audio  $L = 0,1 + 0,53 = 0,63 \text{ mH/km}$ .

Pada frekuensi sebesar 1 MHz,  $\delta/d = 1/20$ , sehingga :

$$L_u = 0,05 + 0,53 = 0,58 \text{ mH/km} \quad \dots\dots\dots (2.14)$$

Pada pertambahan frekuensi hanya terjadi sedikit pengurangan pada induksi.

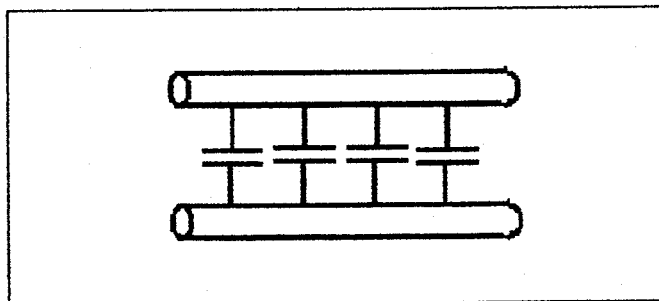
dua konduktor tersebut timbul kapasitansi, yang bila diukur dalam 1 km akan menghasilkan konstanta primer C (Farad/km).

Untuk kapasitansi dari suatu urat kabel seperti pada induksi, berlaku :<sup>19</sup>

$$C = \frac{\pi \epsilon}{\ln \left[ \frac{s}{d} + \left( \frac{s^2}{d^2} - 1 \right)^{0.5} \right]} \quad \dots\dots\dots (2.15)$$

Jika  $s \gg d$  maka berlaku :

$$C = \frac{\pi \epsilon}{\ln \frac{2s}{d}} \quad \dots\dots\dots (2.16)$$



GAMBAR 2.12<sup>20</sup>

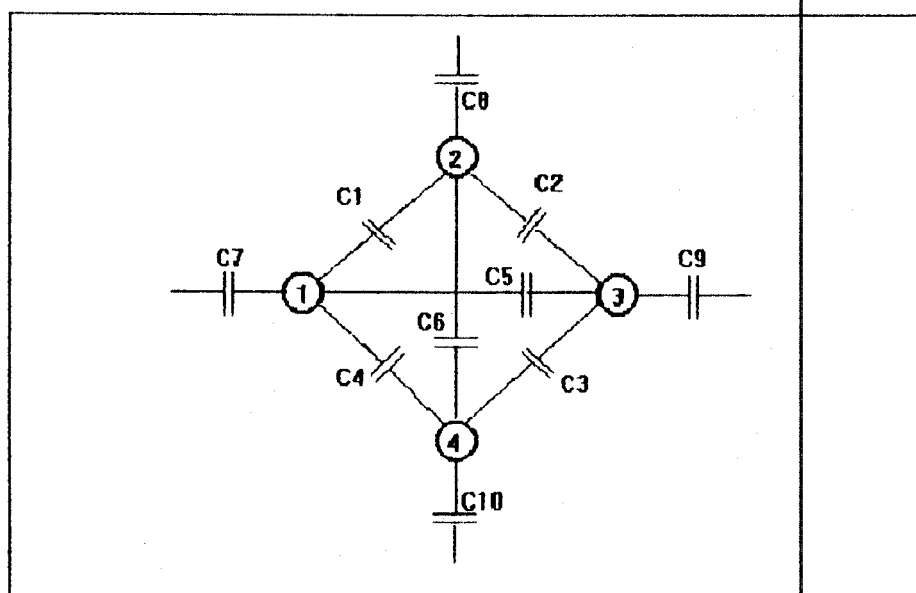
#### KAPASITANSI PARALEL

<sup>19</sup> Ibid, hal 106

<sup>20</sup> PT.TELKOM, op.cit, hal 3

Di sini  $s = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$  dan  $\epsilon_0 = 8,84 \text{ nF/km}$ . Beberapa harga  $\epsilon_r$  adalah : untuk kertas 2; polyetilen 2,3; air 80; udara 1; PVC lunak 5,8. Kapasitansi yang paling kecil terjadi bila di antara penghantar- penghantar terdapat udara (ini adalah salah satu keuntungan dari kabel-kabel telanjang, dimana  $d \gg r$ ). Dengan  $s = 2\pi \epsilon_0 d$  berlaku di udara  $C = 21 \text{ nF/km}$  dan kertas  $C = 42 \text{ nF/km}$ . Kapasitansi dari kabel yang diisolasi dengan kertas dalam praktek antara 33 - 50 nF/km.

Ketergantungannya pada frekuensi ditentukan oleh  $\epsilon_r$ , yang untuk bahan-bahan isolasi pada suatu daerah frekuensi yang besar adalah konstan. Urat kabel di dalam suatu kabel sering dibuat dalam bentuk empatan bintang (gambar 2.12).



GAMBAR 2.13<sup>13</sup>

KAPASITANSI DARI EMPATAN-EMPATAN BINTANG DENGAN  
URAT-URAT KABEL 1, 2, 3 DAN 4

<sup>13</sup> Ekkelenkomp. H, op.cit, hal 107

### II.5.2 Parameter Sekunder Kabel Setangkap

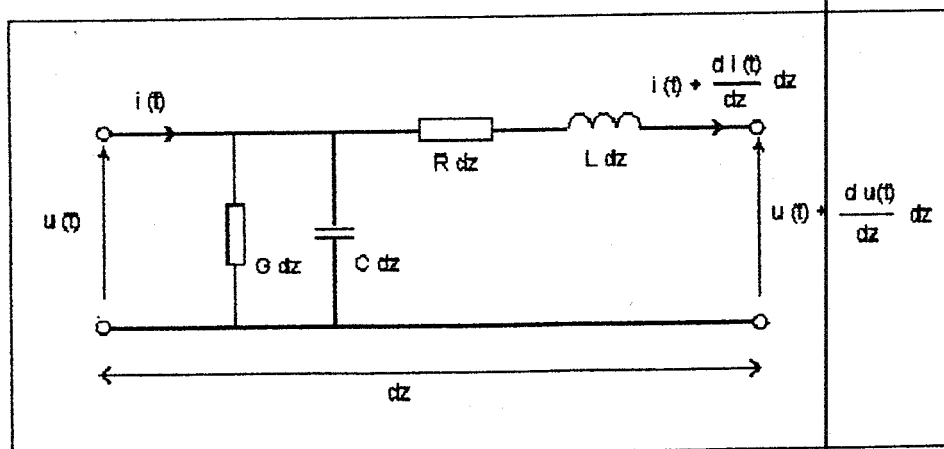
Sepotong saluran transmisi dengan panjang  $dz$  dapat digambarkan sebagaimana gambar 2.14.

Di mana  $R$ ,  $G$ ,  $L$  dan  $C$  merupakan parameter-parameter primer dari kabel untuk tiap satuan panjang. Persamaan-persamaan yang terjadi :

Pada arus dan tegangan sinusoidal berlaku :<sup>20</sup>

$$V(z) = V_1 e^{-\gamma z} + V_2 e^{\gamma z} \quad \dots\dots\dots (2.17)$$

$$I(z) = \frac{1}{Z_0}(V_1 e^{-\gamma z} - V_2 e^{\gamma z}) \quad \dots\dots\dots (2.18)$$



GAMBAR 2.14<sup>21</sup>

POTONGAN ELEMENTER DARI SALURAN TRANSMISI

<sup>20</sup> Ibid, hal 96

<sup>21</sup> Loc.cit

$\gamma$  adalah konstanta perambatan dan  $Z_0$  adalah impedansi karakteristik, yang keduanya merupakan parameter-parameter sekunder kabel yang dihitung berdasarkan empat parameter primer tersebut.

#### II.5.2.1 Impedansi Karakteristik ( $Z_0$ )

Persamaan untuk impedansi karakteristik :

$$Z = \sqrt{(R + j\omega L) / (G + j\omega C)} \quad \text{..... (2.19)}$$

Untuk kabel polyethylene, konduktansi  $G$  berkurang, sehingga pada frekuensi rendah,  $\omega \ll R/L$  didapatkan :

$$Z = \sqrt{R / (j\omega C)} \quad \text{..... (2.20)}$$

Sementara itu untuk frekuensi tinggi,  $\omega \gg R/L$

$$Z = \sqrt{L / C} \quad \text{..... (2.21)}$$

#### II.5.2.2 Konstanta Perambatan ( $\gamma$ )

Konstanta perambatan ( $\gamma$ ), dapat dirumuskan :

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L) (G + j\omega C)} \quad \text{..... (2.22)}$$

Pada frekuensi rendah, pergeseran fasa ( $\alpha$ ) sebanding dengan karakteristik redaman ( $\beta$ ) dengan hubungan sebagai berikut :

$$\alpha = \beta = \sqrt{(\omega RC) / 2} \quad \dots\dots\dots (2.23)$$

Untuk frekuensi tinggi,  $\beta = 0$  , sehingga redaman konstannya adalah :

$$\alpha = R/2 \sqrt{C/L} \quad \dots\dots\dots (2.24)$$

Untuk frekuensi tinggi, harga konduktansi  $G$  sangat kecil, tetapi dalam perhitungan di sini, harga tersebut diperhitungkan dengan  $G$  besar. Berdasarkan persamaan-persamaan tersebut di atas, dapat diperoleh besar tahanan  $R$ , induktansi  $L$  dan redaman untuk frekuensi dari 10 kHz sampai dengan 100 kHz yang dapat dilihat pada tabel di bawah dan grafik pada gambar 2. , untuk kabel diameter 0,4 mm dan 0,6 mm



TABEL 2 - 1<sup>15</sup>

TAHANAN, INDUKTANSI DAN REDAMAN

PADA DIAMETER 0.4 mm

Frekuensi (KHz)	Tahanan (Ohm)	Induktansi (mH)	Redaman (dB/Km)
10	75	0.28	2.46
15	91.86	0.35	3.01
20	106.07	0.4	3.48
25	118.59	0.45	3.89
30	129.9	0.49	4.26
35	140.31	0.53	4.6
40	150	0.57	4.92
45	159.1	0.6	5.22
50	167.71	0.63	5.5
55	175.89	0.66	5.77
60	183.71	0.69	6.03
65	191.21	0.72	6.27
70	198.43	0.75	6.51
75	205.4	0.77	6.74
80	212.13	0.8	6.96
85	218.66	0.82	7.18
90	225	0.85	7.38
95	231.17	0.87	7.59
100	237.17	0.89	7.78

<sup>15</sup> -----, Pengukuran Jaringan Kabel, PUSDIKLAT PT. TELKOM, Bandung, 1990, hal 16

TABEL 2 - 2<sup>16</sup>

TAHANAN, INDUKTANSI DAN REDAMAN

PADA DIAMETER 0.6 mm

Frekuensi (KHz)	Tahanan (Ohm)	Induktansi (mH)	Redaman (dB/Km)
10	50	0.19	1.64
15	61.24	0.23	2.01
20	70.71	0.27	2.32
25	79.06	0.3	2.59
30	86.6	0.33	2.84
35	93.54	0.35	3.07
40	100	0.38	3.28
45	106.07	0.4	3.48
50	111.8	0.42	3.67
55	117.26	0.44	3.85
60	122.47	0.46	4.02
65	127.48	0.48	4.18
70	132.29	0.5	4.34
75	136.93	0.52	4.49
80	141.42	0.53	4.64
85	145.77	0.55	4.78
90	150	0.57	4.92
95	154.11	0.58	5.06
100	158.11	0.6	5.19

<sup>16</sup> Ibid, hal 17

## II.6 ISI INFORMASI DAN KAPASITAS KANAL

Sumber-sumber informasi dapat diklasifikasikan dalam dua kategori yaitu analog (kontinyu) dan diskrit. Demikian juga untuk kanal komunikasinya

Sumber informasi analog outputnya berupa sinyal suara, untuk digital berupa urutan simbol atau huruf. Sumber informasi analog dapat ditransformasikan ke dalam sumber informasi diskrit melalui proses sampling dan kuantisasi. Kanal analog menerima sinyal dengan amplituda waktu yang kontinyu sebagai inputnya dan outputnya adalah gelombang input dengan tambahan noise. Kanal diskrit menerima urutan simbol sebagai inputnya, dan outputnya adalah input ditambah error.

### II.6.1 Isi Informasi

Isi informasi dalam suatu berita hanya bergantung pada probabilitas kemunculan suatu peristiwa, bukan pada isi sesungguhnya. Hubungan antara isi informasi dan probabilitas kemunculan berita adalah :

$$I(m_k) = \log(1/p_k) \quad \dots\dots\dots (2.25)$$

atau

$$I(m_k) = -\log_2(p_k) \quad \dots\dots\dots (2.26)$$

Probabilitas kemunculan suatu simbol tertentu selama interval waktu simbol, tidak bergantung pada simbol yang dikeluarkan sumber selama interval simbol yang mendahului.

Jika berita terdiri dari  $N$  simbol, maka isi informasi total dari suatu berita merupakan jumlahan dari beberapa informasi dalam berita tersebut.

$$I_{\text{tot}} = \sum_{i=1}^M N \log_2 (1/p_i) \text{ bit} \quad \text{..... (2.27)}$$

Sedangkan isi informasi rata-rata per simbol (Entropi) adalah :

$$H = \sum_{i=1}^M p_i \log_2 (1/p_i) \text{ bit/simbol} \quad \text{..... (2.28)}$$

Simbol-simbol dari output sumber mempunyai laju waktu tertentu  $r$  dikalikan isi informasi rata-rata per simbol, yaitu :

$$R = r H \text{ bit/s} \quad \text{..... (2.29)}$$

### II.6.2 Kapasitas Kanal

Kapasitas kanal adalah laju maksimum penyaluran informasi. Kapasitas suatu sistem pada saat penyaluran informasi tergantung pada response waktu sistem

dan kemampuan membedakan level-level sinyal. Dalam sistem komunikasi telefoni, kanal yang digunakan adalah kanal analog/kontinyu. Input dan output dari kanal ini berupa gelombang listrik analog. Kanal analog dapat memasukkan sinyal lain sehingga timbul noise dan fading. Noise pada kanal analog biasanya berupa noise Gaussian karena panas peralatan maupun radiasi yang diterima antena.

Menurut teori Shannon-Hartley, kapasitas suatu kanal yang mempunyai Bandwidth  $B$  dan noise tambahan Gaussian adalah :

$$C = B \log (1 + S/N) \text{ bit/s} \quad \dots\dots\dots (2.30)$$

di mana

$S$  = daya rata-rata sinyal

$N$  = daya rata-rata noise

Teorema Shannon-Hartley memberikan dua dasar penting dalam teknik sistem komunikasi, yaitu : batasan yang lebih tinggi yang dapat dicapai dalam laju transmisi data melalui kanal Gaussian dan bekerja menggunakan perubahan rasio Signal To Noise ( $S/N$ ) pada lebar pita tertentu.

## II.7 HUBUNGAN BER VS SNR UNTUK BEBERAPA FORMAT KODE

Untuk peningkatan kualitas jaringan lokal yang ada di Indonesia saat ini, diusahakan pencapaian ISDN. Karena sebagian dari sistem jaringan yang ada saat

ini masih menggunakan sistem analog, maka cara yang ditempuh untuk mengubahnya menjadi sinyal digital adalah dilewatkan PCM (Pulse Code Modulation) digabung dengan TDM, dan dikenal dengan PCM/TDM. Prinsipnya menyalurkan sinyal analog dalam mode digital tertentu setelah melalui tiga tahap yaitu sampling, kuantisasi dan pengkodean. Proses sebaliknya berlaku pada sisi terima.

Kemampuan jaringan lokal untuk akses dasar dari sinyal analog menjadi sinyal digital ditunjukkan oleh BER (Bit Error Rate) yang besarnya tergantung dari harga SNR (Signal to Noise Ratio) pada ujung terima untuk setiap format kode yang dipakai.

### II.7.1 Kode Saluran (Kode Terner)

Proses pengkodean sinyal analog menjadi kode digital pada PCM menghasilkan sinyal biner unipolar, yang masih mengandung komponen DC sehingga tidak dapat disalurkan melalui kopel transformator ke saluran. Untuk itu diperlukan kode terner agar daya sinyal pada pengirim kecil, efisiensi penyaluran sinyal optimal dan tidak ada komponen DC pada formatnya.

- Dalam saluran transmisi, sinyal yang telah dikode dalam kode biner diubah menjadi kode saluran, dalam bentuk sinyal terner, yang dalam sisi kirim diubah menjadi pulsa-pulsa dengan perbandingan pulsa periode 50%. Kecepatan dari simbol-simbol pada jalur transmisi disebut kecepatan simbol, yang dinyatakan dalam baud (Bd).

Perubahan dari sinyal biner menjadi sinyal terner menyebabkan kecepatan simbol menjadi lebih kecil daripada kecepatan transmisi. Pada penghantar yang terbuat dari logam, redaman pada frekuensi tinggi berbanding lurus dengan akar frekuensi, menyebabkan kecepatan simbol menjadi lebih rendah lagi. Oleh karenanya bandwidth frekuensi yang dibutuhkan juga semakin kecil, sehingga menghemat bandwidth frekuensi kerja sistem.

Ada berbagai macam kode saluran (kode terner) yang digunakan untuk penyaluran informasi dalam kanal baseband, yaitu :

1. AMI, HDB-3 (High Density Bipolar)
2. 4B/3T

#### **II.7.1.1 BER vs SNR untuk kode Terner (AMI, HDB-3)**

AMI dan HDB-3 banyak dipergunakan pada komunikasi digital, khususnya untuk transmisi PCM. Baik pada pulsa positif atau tegangan negatif yang kemunculannya bergantian. Kelemahan pada penyandian AMI adalah kurangnya informasi apabila terjadi sederetan nol yang panjang. Untuk mengatasi hal tersebut, pada penyandian HDB-3 atau kode bipolar dengan kerapatan tinggi. Kode ini banyak digunakan pada sistem transmisi PCM, dengan kecepatan bit 2,048 Mbit/s, 8,448 Mbit/s dan 34,368 Mbit/s.

Kemunculan bit "0" yang berturutan cukup panjang, dapat mengakibatkan kesalahan dalam proses pembentukan kembali pulsa-pulsa yang telah diterima. Untuk

TABEL 2-3<sup>24</sup>

## PEMAKAIAN KODE HDB-3

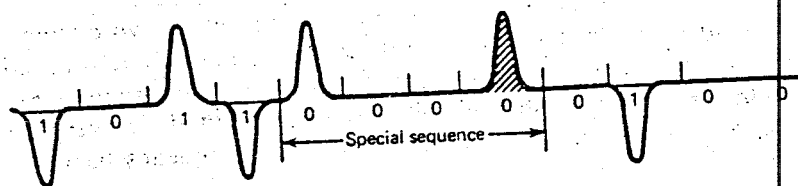
Urutan bit input	1 0 1 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0
Urutan bit yang sudah terkode	1 0 1 1 <span style="border: 1px solid black;">1 0 0 D</span> 0 1 <span style="border: 1px solid black;">0 0 0 D</span> <span style="border: 1px solid black;">1 0 0 D</span>
level amplitudo ( $a_k$ )	- 0 + - + 0 0 + 0 - 0 0 0 - + 0 0 +

menghindari monculnya "0" yang berturutan lebih dari tiga kali , maka "0" yang ke-empat nilainya akan menjadi +1 atau -1 , tergantung dari harga yang sebelumnya. Bentuk kode HDB-3 yang tertentu adalah 000D dan 100D. Harga "0" terdepan menunjukkan level "0", sedangkan harga "1" yang terdepan menunjukkan level amplitudo +1 atau -1 sesuai aturan bipolar, "D" berarti menjadi +1 atau -1. Contoh pemakaian kode HDB-3 ini ditunjukkan dalam tabel 2-3.

Urutan bit di dalam kotak menunjukkan bit-bit dari kode HDB-3 yang mengalami proses peralihan khusus. Bentuk gelombang pada tabel 2-3 dapat dilihat pada gambar 2.15.

<sup>24</sup> Sam Shanmugam, K., Digital and Analog Communication System, John Willey & Sons, New York, 1979, hal 227



GAMBAR 2.15<sup>18</sup>

## BENTUK GELOMBANG HDB-3

## II.7.1.3 BER vs SNR untuk kode 4B/3T

Format penyandian ini berbeda dengan kedua format sebelumnya, karena penyandian ini didasarkan kepada kelompok informasi (4 bit). Kelompok 4 bit dua tingkatan dirubah menjadi 3 bit 3 tingkatan (lihat tabel 2-4). Akibatnya kecepatan simbol (dalam baud) menjadi 3/4 kali kecepatan penyaluran dalam bit/s. Dengan kapasiitas saiuran yang sama, diperoleh penyaluran informasi yang lebih tinggi.

TABEL 2-4<sup>19</sup>

## PENYANDIAN 4B/3T DENGAN DUA MODUS

Kata biner masuk	Kata terner keluar	
	mode 1 DSV = 0,1,2	mode 2 DSV = 0,-1,-2
0 0 0 0	0 - +	0 - +
0 0 0 1	- + 0	- + 0

<sup>18</sup> Loc cit<sup>19</sup> Rosie. A. M, Information and Communication Theory, Van Nostrand Reinhold Co., London, 1973, hal 213

0 0 1 0	- 0 +	- 0 +
0 0 1 1	+ - +	- + -
0 1 0 0	0 + +	0 - -
0 1 0 1	0 + 0	0 - 0
0 1 1 0	0 0 +	0 0 -
0 1 1 1	- + +	+ - -
1 0 0 0	0 + -	0 + -
1 0 0 1	+ - 0	+ - 0
1 0 1 0	+ 0 -	+ 0 -
1 0 1 1	+ 0 0	- 0 0
1 1 0 0	+ 0 +	- 0 -
1 1 0 1	+ + 0	- - 0
1 1 1 0	+ - -	- - +
1 1 1 1	+ + +	- - -

### II.7.2 Hubungan Frekuensi dengan Format Kode

Penyaluran suatu sinyal digital dinyatakan dengan frekuensi Nyquist, di mana frekuensi penyaluran sama dengan  $1/2$  kecepatan informasinya (bit/s). Pada beberapa format penyandian, kecepatan penyaluran tidak sama dengan kecepatan informasinya, sehingga frekuensi pada jenis-jenis format tersebut berbeda-beda, untuk jumlah informasi yang sama. Berikut ini kita ketengahkan perhitungan frekuensi untuk beberapa format penyandian yang banyak dipergunakan.

Sinyal biner dalam format AMI maupun HDB-3 dirubah menjadi 3 level, kecepatan penyalurannya masih sama dengan kecepatan informasinya, sehingga frekuensi penyaluran sama dengan  $1/2$  dari kecepatan informasinya.

Pada sinyal terner dengan penyandian 4B/3T kecepatan penyaluran  $\frac{3}{4}$  kali kecepatan informasinya. Jadi frekuensi penyaluran sama dengan  $\frac{3}{4} \times \frac{1}{2}$  kecepatan informasinya. Untuk informasi yang berkecepatan 160 kbit/s, frekuensi untuk format AMI/HDB-3 dan 4B/3T dapat dilihat pada tabel 2-6.

TABEL 2-6<sup>20</sup>

## FREKUENSI PENYALURAN UNTUK SINYAL DIGITAL DENGAN FORMAT

## BIPOLAR NRZ, AMI/HDB-3 DAN 4B/3T

Format	Kec. Informasi (Kbit/s)	Kec. Penyaluran (baud)	Frekuensi (KHz)
NRZ	160	160	80
AMI/HDB-3	160	160	80
4B/3T	160	120	60

<sup>20</sup> Ibid, hal 6

## BAB III

# CROSSTALK PADA SALURAN PELANGGAN

---

### III.1 TEORI SALURAN TRANSMISI

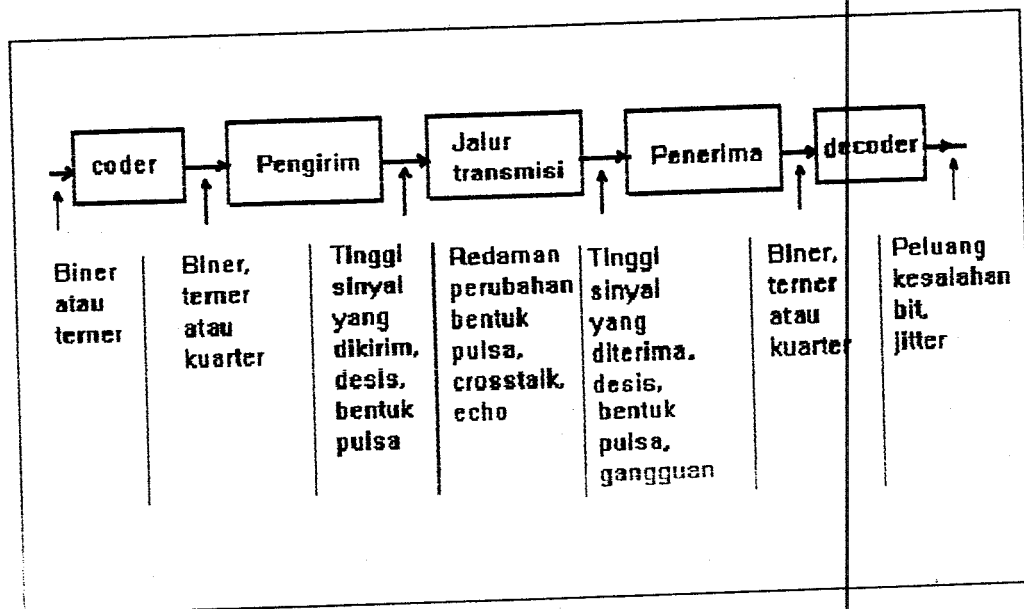
Pada sistem transmisi informasi digital maupun analog gangguan-gangguan yang terjadi pada sistem selalu muncul sejalan dengan tersalurkannya sinyal informasi sehingga akan mengakibatkan turunnya kualitas sinyal yang diterima. Gambar 3.1 menunjukkan distribusi redaman sepanjang jaringan kabel lokal.

Di antara gangguan tersebut yang sering muncul pada transmisi melalui kabel adalah crosstalk.

Crosstalk yaitu terjadinya lompatan energi listrik dari satu saluran menginduksi saluran lainnya. Crosstalk bisa terjadi antar urat kabel dalam pasangan kabel yang sama atau antar urat kabel dalam pasangan yang lain. Akibatnya dalam hubungan telepon antar pelanggan akan terdengar suara yang berasal saluran yang lain.

Crosstalk pada saluran transmisi dipengaruhi oleh faktor-faktor redaman lainnya, yaitu

- ☐ Interferensi
- ☐ ISI (Interferensi Intersimbol)

GAMBAR 3.1<sup>21</sup>

## DISTRIBUSI REDAMAN DALAM SALURAN

## III.1.1 Interferensi

Induksi saluran listrik pada transmisi sinyal menimbulkan gangguan yang berupa tegangan induksi dan derau induksi harmonis. Tegangan induksi berpengaruh pada kualitas sinyal pada frekuensi jala-jala 50 Hz. Sedangkan pengaruh derau induksi ditentukan oleh jarak fisik antar saluran, panjang paralel kedua saluran serta besaran listrik lainnya. Menurut standart CCITT ditetapkan harga minimum interferensi yang diijinkan sebesar 1 mV atau dalam daya 10 nW.

<sup>21</sup> Ekkelenkamp, op.cit, hal 41

### III. 1. 2 Interferensi Intersimbol

Interferensi Intersimbol (ISI) adalah suatu efek yang dihasilkan oleh output penerima. Interferensi intersimbol menyebabkan derau yang besarnya adalah :<sup>22</sup>

$$N_i = \frac{2.K.T.R_o.F_{ek}.\alpha.f_n}{\Gamma(\alpha, \beta, \delta)}$$

dengan :

K : konstanta Boltzman ( $1,39.10^{-23}$ )

T : temperatur kamar ( $290^0$  K)

$F_{ek}$  : faktor derau ekivalen

$\alpha$  : redaman kabel (ohm/km)

$f_n$  : frekuensi Nyquist

$\Gamma$  : faktor bentuk derau, yang merupakan fungsi  $\alpha$ , perbandingan pulsa periode  $\delta$  dan kecepatan perubahan fase  $\beta$ .

Daya sinyal yang diterima dengan adanya intersimbol menjadi :<sup>23</sup>

$$S = \delta.E.\Psi_1(1 - 2\Psi_2)$$

dengan :

E = amplitudo tegangan sinyal yang diterima

$\delta$  = perbandingan periode pulsa

$\Psi_1$  = kemiringan bentuk pulsa, yang tergantung periode pulsa  $t/T$  (lihat gambar 3.2a)

<sup>22</sup> Ekkelenkamp, op.cit, hal 117

<sup>23</sup> loc cit

$\Psi_2$  = interferensi intersimbol relatif, yang tergantung  $t/T$  dan  $\beta$  (lihat gambar 3.2b), . harga harus lebih kecil dari 0,5 agar diperoleh S yang positif.

Secara praktis digunakan harga parameter sebagai berikut :

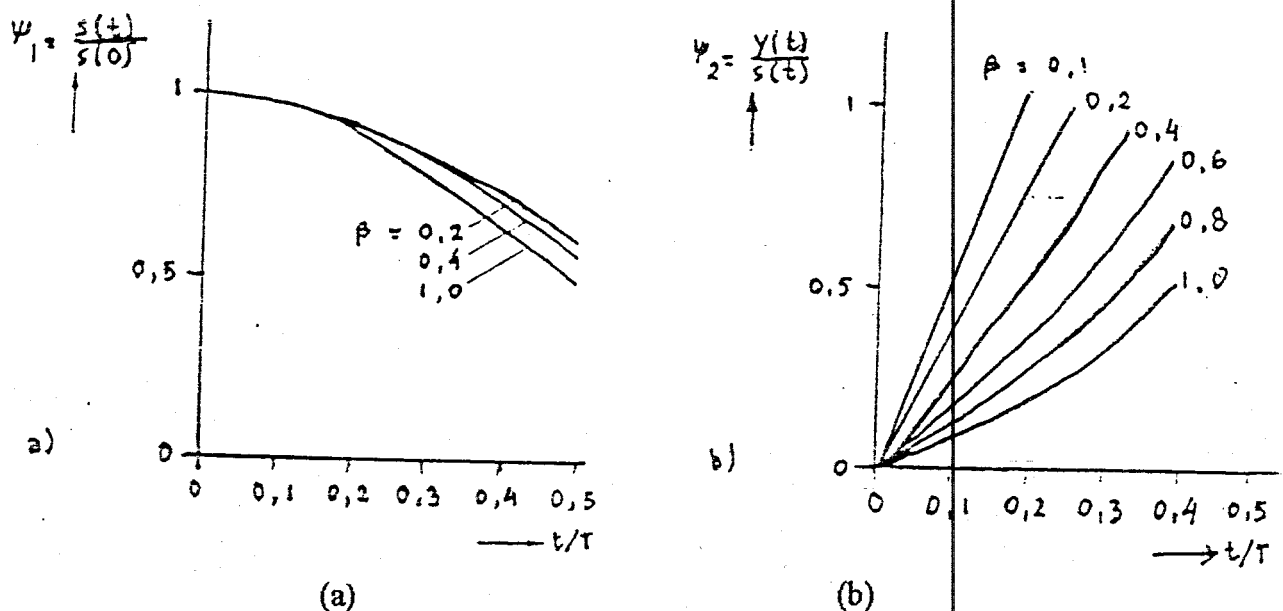
$$\beta = 1.0 ; \delta = 0,35 \text{ didapatkan } \Psi_1 = 0,85 \text{ dan } \Psi_2 = 0,4$$

sehingga daya sinyal sebesar :

$$S = 0,2 E 0,94 (1 - 2 \times 0,34)$$

$$S = 0,06016 E$$

Karena itu penurunan daya akibat interferensi intersimbol mencapai 12,2 dB.



GAMBAR 3.2<sup>24</sup>

(a) KEMIRINGAN BENTUK PULSA

(b). INTERFERENSI INTERSIMBOL RELATIF

<sup>24</sup> Ekkelenkamp, op.cit, hal 118

## III. 2 FAKTOR-FAKTOR PENYEBAB CROSSTALK

Jika dua saluran berada pada jarak yang sangat dekat, mereka akan saling mempengaruhi, karena adanya kopling energi dari satu urat kabel ke urat kabel yang lain. Kopling-kopling tersebut ditentukan oleh konfigurasi konduktor, terutama karena dekatnya jarak antar saluran dan biasanya tersebar rata sepanjang saluran. Macam-macam kopling yang dapat menyebabkan crosstalk kopling kapasitif dan kopling induktif.

### III.2.1. Kopling kapasitif

Kopling kapasitif atau disebut juga mutual kapasitansi ditentukan oleh susunan geometrik dari penghantar dalam inti kabel dan oleh tipe bahan isolasi antar konduktor. Dalam hal ini suatu saluran tidak cukup hanya mempertimbangkan kapasitansi dari sebuah konduktor dalam sebuah saluran, sebab kapasitansi antara konduktor dari saluran yang ada di sebelahnya juga dapat menyebabkan mutual kapasitansi. Kapasitansi saluran ini akan bertambah sebanding dengan :

- ☐ Pertambahan jarak pemisah antar konduktor.
- ☐ Perluasan permukaan konduktor.
- ☐ Pertambahan konstanta dielektrik relatif.
- ☐ Pertambahan temperatur (Untuk penghantar dengan bahan isolasi kertas)
- ☐ Penurunan temperatur (Untuk penghantar dengan isolasi polietilen)



☐ Kelembaban yang tinggi

Redaman dengan kualitas penyaluran yang tinggi sangat tergantung pada mutual kapasitansi ini. Untuk mendapatkan mutual kapasitansi serendah mungkin maka harus mempertimbangkan :

- ☐ Jarak pemisah dibuat sebesar mungkin, namun secara ekonomis hal ini dianggap tidak efisien.
- ☐ Bahan isolasi harus mempunyai konstanta dielektrik relatif ( $\epsilon_r$ ) mendekati konstanta dielektrik relatif udara di ruang hampa ( $\epsilon_r = 1.000594$ ).

Mutual kapasitansi ini terjadi pada frekuensi-frekuensi tinggi.

### III.2.2 Kopling induktif

Kopling induktif atau disebut magnetik kopling terjadi karena medan magnet dari salah satu konduktor mempengaruhi konduktor yang lain. Pada saluran yang simetris harga induktansi ini merupakan jumlah dari induktansi luar dan induktansi dalam ( $L = L_{int} + L_{ext}$ ). Mutual induktansi ini berbanding terbalik dengan frekuensi.

- ☐ Induktansi Luar dipengaruhi oleh medan magnet yang berasal dari konduktor dari saluran yang lain dan secara efektif ditunjukkan dengan rasio antara jarak pemisah konduktor dengan konduktor dalam.
- ☐ Induktansi Dalam tergantung pada medan magnet dari konduktor dalam, yaitu pada seksi penyilangan dari konduktor. Bila frekuensi bertambah maka efek kulit akan berkurang sehingga kopling induktif juga akan berkurang.

Untuk beberapa diameter yang berbeda pada frekuensi suara 300 - 3400 Hz, harga kopling induktif ini tidak menunjukkan perubahan yaitu mendekati 0.7 mH/km.

### III.3 TERBANGKITNYA CROSSTALK PADA SEPASANG KABEL

Setelah mengetahui faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya crosstalk, selanjutnya akan dibahas crosstalk yang ada di saluran dengan menggunakan media kabel pasangan (pair cable).

Crosstalk sering muncul pada kabel-kabel pasangan, karena pada kabel pasangan inilah coupling energi dari satu kabel ke kabel lainnya timbul. Pada frekuensi-frekuensi rendah yang terutama menentukan adalah pengkopelan induktif, sedangkan pada frekuensi-frekuensi tinggi yang berpengaruh adalah pengkopelan kapasitif. Pada kabel-kabel koaksial efek kulit pada frekuensi tinggi mengatur perlindungan kabel yang satu terhadap yang lain.

Di dalam suatu bagian elementer kabel pada posisi  $z$  dengan panjang  $dz$ , pengkopelan induktif dapat diganti oleh suatu induksi timbal balik per satuan panjang  $L_m$  dan pengkopelan kapasitif dapat diganti dengan suatu kapasitansi kopel per satuan waktu  $C_u$ . Urat kabel pengganggu maupun urat kabel terganggu pada ujung awal dan akhir ditutup dengan impedansi karakteristik  $Z_0$ . Pada posisi  $z$  antara urat-urat kabel dari urat kabel pengganggu terdapat tegangan  $I_l z Z_0$ . Pada gambar 3.3 terlihat crosstalk antara dua buah penghantar pasangan. Karena impedansi



kondensator lebih besar dari  $Z_0$ , maka oleh karena kondensator- kondensator yang terhubung seri, mengalir suatu arus sebesar :

$$I_{1z} \cdot Z_0 \frac{j\omega C_u}{4} dz$$

Arus ini bercabang, sehingga pada setiap jurusan di dalam urat kabel terganggu terdapat arus sebesar :

$$dI_{cu} = \frac{j\omega C_u}{8} \cdot Z_0 \cdot I_{1z} \cdot dz$$

Efek karena adanya pengkopelan induktif adalah suatu arus di dalam urat kabel terganggu sebesar :

$$dI_{Lm} = \frac{j\omega L_m}{Z_0} I_{1z} dz$$

Jadi dengan adanya pengkopelan - pengkopelan pada kabel - kabel pasangan maka muncullah crosstalk pada saluran telepon yang menggunakan kabel - kabel pasangan sebagai saluran transmisi.

Dengan melihat gambar 3.3, maka akan kita dapatkan persamaan crosstalk baik near-end maupun far-end crosstalk coupling loss yang terjadi pada saluran transmisi yang menggunakan kabel pasangan.

Arus  $dI_{2f}$  pada urat kabel yang terganggu pada posisi  $z$  ke arah pengirim adalah :

$$dI_{2f} = dI_{Cu} - dI_{Lm}$$

sehingga :

$$\frac{dI_{2f}}{I_{1z}} = \left( \frac{j\omega C_u Z_0}{8} + \frac{j\omega L_m}{Z_0} \right) dz$$

Dari persamaan di atas harga  $I_{1z} = I_{10} e^{-\gamma_{1z}}$  dan untuk  $dI_{2N} = dI_{2z} e^{-\gamma_{2z}}$ ,

Pada harga  $L$  yang besar, faktor  $e^{-2(k_1+k_2)\sqrt{f}L}$  dapat diabaikan sehingga menyebabkan :

$$NEXT = 10 \log \frac{P_{2N}}{P_{1o}} = 10 \log k_N + 15 \log f \quad (\text{dB})$$

Dari persamaan 3.11 terlihat bahwa NEXT bertambah 15 dB untuk tiap dekade frekuensi, atau bertambah 4,5 dB per oktaf dalam frekuensi.

$K_N$  adalah konstanta NEXT yang tergantung pada jenis kabel, dan persamaannya sebagai berikut :

$$k_N = \frac{4\pi^2}{2(k_1+k_2)} \left( \frac{CZ_o}{8} + \frac{Lm}{Z_o} \right)$$

dengan ::

$k_1$  : konstanta redaman kabel 1

$k_2$  : konstanta redaman kabel 2

Sedangkan untuk far-end crosstalk (FEXT) berlaku  $dI_{2z} = dI_{Cu} + dI_{Lm}$ , sehingga dengan adanya faktor  $\frac{dI}{dI_{1z}} = \left( \frac{j\omega Cu Z_o}{8} - \frac{j\omega Lm}{Z_o} \right) dz$ , maka dengan cara yang sama didapat :

$$\frac{P_{2F}}{P_{1o}} = \left| \frac{I_{2F}}{I_{1o}} \right|^2 = k_F f^2 L (e^{-2(\alpha_1 + \alpha_2)L} - 1)$$

Pada urat kabel yang sama  $\alpha_1 = \alpha_2$ , maka didapatkan :

$$FEXT = 10 \log \frac{P_{2F}}{P_{1o}} = 10 \log k_F + 20 \log f + 10 \log L \quad (\text{dB})$$

FEXT bertambah 20 dB pada tiap dekade frekuensi dan 10 dB pada tiap dekade panjang dan pada penggandaan panjang kabel, harga FEXT bertambah 3 dB dan 6 dB tiap oktaf frekuensi.  $L$  merupakan panjang kabel (m) sedangkan  $K_F$  adalah konstanta FEXT yang tergantung jenis pada kabel dan persamaannya adalah :

$$k_F = 4\pi^2 \left( \frac{Lm}{Z_0} - \frac{CZ_0}{8} \right)$$

Karena  $k_F \ll k_N$  maka secara umum NEXT lebih merupakan masalah daripada FEXT.

### III.4 TIPE-TIPE CROSSTALK

Dari pembahasan di atas diketahui ada dua macam crosstalk yang terdapat pada saluran transmisi, yaitu :

Dari dua macam crosstalk tersebut NEXT merupakan sumber dominan yang menyebabkan interferensi karena sinyal pengganggu dikopel ke sinyal terganggu pada input penerima di mana level sinyal pada keadaan normal adalah rendah. Untuk mengatasi hal ini pada arah yang transmisi yang berlawanan biasanya dipakai kabel selubung (screened cable) untuk menghindari NEXT.

#### III.4.1 Near-End Crosstalk (NEXT)

Near-end crosstalk muncul pada ujung dekat saluran yang terinduksi. NEXT menunjukkan suatu keadaan di mana arus dari rangkaian pengganggu (disturbing

circuit) merambat pada arah yang berlawanan dengan arus pada rangkaian terganggu (disturbed circuit).

NEXT ini biasanya terdapat pada sistem saluran yang menggunakan kabel berpasangan. Keberadaan NEXT ditentukan oleh faktor-faktor sebagai berikut :

- ☐ jenis kabel
- ☐ frekuensi pemisahan pasangan kabel secara fisik dalam dua arah transmisi
- ☐ jumlah sistem carrier yang terkandung dalam kabel

Untuk pemasangan kabel berpasangan banyak (multipair), masing-masing pasangan kabel dibuat tiap-tiap group ke dalam unit-unit atau lapisan konsentris dalam bentuk inti kabel. Di bagian luar lapisan yang terbuat dari timbal atau plastis diperlukan inti sebagai pelindung. Sedangkan untuk pasangan terpisah susunan kabel dipilin dengan jarak berbeda dengan tujuan untuk meminimisasi NEXT akibat adanya interferensi antara pasangan-pasangan dalam saluran transmisi yang menggunakan kabel pasangan sebagai media transmisi. Dalam kabel yang lebih kecil, interferensi akibat crosstalk bertambah sesuai dengan jumlah sistem carrier.

Besarnya NEXT untuk kabel pasangan dengan konduktor tembaga dan isolasi polyethilene untuk berbagai frekuensi dan pada diameter 0,4; 0,6 dan 0,8 mm dapat dilihat pada tabel 3-1.

TABEL 3-1<sup>26</sup>

NEXT SEBAGAI FUNGSI FREKUENSI PADA DIAMETER KABEL BERBEDA

Frekuensi (kHz)	NEXT (dB)		
	D = 0.4 mm	D = 0.6 mm	D = 0.8 mm
10	45.4	45.1	45
20	49.7	59.4	49.3
30	52.2	52	51.9
40	54	53.8	53.7
50	55.4	55.2	55.1
60	56.5	56.4	56.3
70	57.5	57.4	57.3
80	58.3	58.2	58.1
90	59.1	59	58.9
100	59.8	59.6	59.6

### III.4.2 Far-End Crosstalk (FEXT)

Far-end crosstalk muncul pada ujung jauh (far-end) saluran yang terinduksi. Far-end crosstalk yaitu suatu keadaan di mana arus pada rangkaian terganggu (disturbed circuit) merambat searah dengan arus pada rangkaian pengganggu (disturbing circuit). FEXT ini biasanya terdapat pada saluran transmisi yang menggunakan sistem kabel berpasangan.

Besar FEXT dipengaruhi oleh faktor-faktor :

- ☐ jenis kabel
- ☐ panjang saluran

<sup>26</sup> Pusdiklat PT TELKOM, op.cit, hal 22

TABEL 3-2<sup>34</sup>

FEXT SEBAGAI FUNGSI FREKUENSI PADA DIAMETER KABEL BERBEDA

Frekuensi (kHz)	FEXT (dB)		
	D = 0.4 mm	D = 0.6 mm	D = 0.8 mm
10	72.7	72.4	72.2
20	78.4	78.2	78.1
30	81.8	81.6	81.5
40	84.2	84.1	84.1
50	86.1	85.9	85.9
60	87.7	87.5	87.4
70	89	88.8	88.7
80	90.1	90.1	89.9
90	91.1	91.1	90.9
100	92.1	91.9	91.8

☐ panjang saluran

☐ frekuensi pemisahan kabel

di mana panjang saluran dalam meter dan frekuensi dalam kHz dan besarnya tergantung dari kecepatan penyaluran dan format kode yang digunakan.

Besar FEXT untuk kabel pasangan dengan diameter 0,4; 0,6 dan 0,8 mm pada frekuensi 60 dan 80 KHz dengan panjang kabel 1 km seperti terlihat pada tabel 3-2.

Dari kedua tabel tersebut dapat dibandingkan bahwa pengaruh FEXT sangat kecil.

<sup>34</sup> Ibid, hal 22



### III. 5 PARAMETER CROSSTALK

Sepasang saluran yang terdiri dari saluran penyebab induksi dan saluran yang terinduksi secara sederhana digambarkan dalam gambar 3.4, dengan sebuah port input di A dan tiga port output di B, C dan D. Redaman crosstalk kadang disebut redaman transfer yang dipakai untuk mendefinisikan sebagian crosstalk. Satuan redamancrosstalk didefinisikan sebagai rasio antara dua daya yang dihasilkan.

$$a = 10 \log P_1/P_2 \text{ (dB)}$$

Jika saluran pnginduksi dihubungkan dengan impedansi karakteristik  $Z_1$  sedang saluran terinduksi dihubungkan dengan impedansi karakteristik  $Z_2$  maka :

$$A = 20 \log (U_{10}/U_{12}) + 10 \log (Z_2/Z_1) \text{ (dB)}$$

Umumnya untuk tipe saluran yang sama dalam kabel maka impedansi karakteristik dianggap sama ( $Z_1 = Z_2$ ) sehingga persamaannya menjadi :

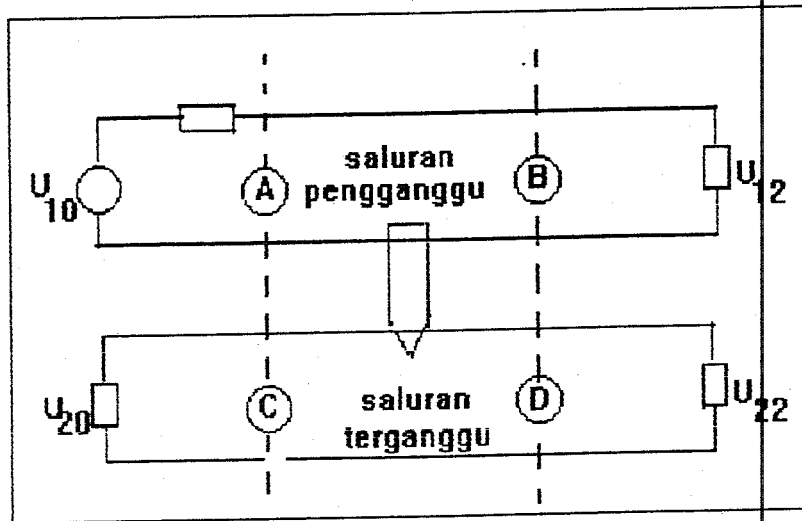
$$\begin{aligned} A &= 20 \log (U_{10}/U_{12}) + 10 \log (Z_1/Z_1) \\ &= 20 \log (U_{10}/U_{12}) + 10 \log (1) \\ &= 20 \log (U_{10}/U_{12}) \text{ (dB)} \end{aligned}$$

Dari gambar didapat redaman NEXT (A  $\rightarrow$  C) sebagai berikut :

$$A_N = 20 \log (U_{10}/U_{20})$$

Dan redaman FEXT (A  $\rightarrow$  D) :

$$A_F = 20 \log (U_{10}/2U_{22})$$

GAMBAR 3.4<sup>28</sup>

### TEGANGAN PADA DUA PENGHANTAR PASANGAN

Untuk alasan pengukuran, disarankan untuk mengukur tegangan  $U_{12}$  pada saluran penginduksi dan  $U_{22}$  pada saluran terinduksi pada ujung jauh saluran. Jika redaman total saluran penginduksi =  $U_{10}/U_{12}$  maka FEXT terdapat juga dinyatakan sbd :

$$\begin{aligned} af &= 20 \log (U_{12}/U_{22}) + 20 \log (U_{10}/U_{12}) \\ &= 20 \log (U_{12}/U_{22}) + a \end{aligned}$$

$$af - a = 20 \log (U_{12}/U_{22})$$

Rumus  $af - a$  merupakan nilai dasar dari satuan FEXT.

Dari hubungan persamaan redaman crosstalk dengan macam kopling yang mengakibatkannya maka dapat dibuat persamaan :

<sup>28</sup> Telecommunication System, hal 93

- ☐ Redaman NEXT pada kopling kapasitif

$$a_N = 20 \log 2 / (\omega \cdot k \cdot Z_m) \text{ dB}$$

- ☐ Redaman NEXT pada kopling magnetik

$$a_N = 20 \log (2 \cdot Z_m) / (\omega \cdot m) \text{ dB}$$

Substitusi untuk harga-harga k, m,  $Z_m$  adalah sbb :

$$k = 1/4 (k_1, k_4 \dots 12) \quad \text{atau} \quad k = 1/2 (k_2, 3)$$

$$m = m_1 \dots 12$$

$$Z_m = \sqrt{Z_1 \cdot Z_2} \quad \text{untuk } Z_1 = Z_2 \quad \text{maka } Z_m = Z_1 = Z_2$$

Untuk kopling m dan k nilai yang terukur dikonversikan, misalnya untuk  $k_1$  maka persamaannya menjadi :

$$a_N = 20 \log 8 / (\omega \cdot k_1 \cdot Z_m) \text{ dB}$$

## BAB IV

# PENGUKURAN DAN ANALISA PENGUKURAN

---

---

### IV.1 PENGUKURAN DI JARINGAN LOKAL

Seperti telah dijelaskan pada bab sebelumnya, gangguan yang paling berpengaruh yaitu redaman, crosstalk dan interferensi intersymbol. Pengukuran dilakukan terhadap :

- ☐ Redaman
- ☐ NEXT
- ☐ FEXT

Untuk mengetahui apakah kabel masih dapat dipergunakan atau masih dapat diperbaiki, sebelumnya perlu dilakukan pengukuran parameter-parameter dasar atau disebut dengan pengukuran DC. Macam pengukuran DC yang dilakukan adalah :

1. **Discontinuity Test** ; pengukuran untuk mengetahui terputus tidaknya hubungan.

2. **Tahanan Isolasi** ; mengetahui adanya hubung singkat dan apakah isolasinya masih baik dan dapat dipergunakan (minimal 5000 MOhm).
3. **Tahanan Jerat (Loop Resistance)** ; untuk mengetahui panjang kabel.
4. **Kapasitansi bersama (Mutual Capasitance)**, bila diperlukan dapat dipakai untuk memperbaiki kondisi keseimbangan (balancing) kapasitansi untuk memperkecil crosstalk.

#### IV.2 PELAKSANAAN PENGUKURAN DI JARINGAN LOKAL

Pengukuran dilaksanakan secara sampling pada saluran transmisi. Agar pengukuran dapat mewakili seluruh wilayah maka pengukuran harus memenuhi syarat-syarat berikut :

1. Pada setiap kabel primer dari sebuah sentral dilakukan pengukuran dari sentral menuju DP melalui sebuah RK atau dua buah RK. Pengukuran dilakukan secara timbal balik dari DP ke sentral dan diukur terhadap pasangan pada 2 quad yang berdekatan.
2. RK yang diambil dari setiap kabel primer adalah RK yang terjauh. Hal ini diasumsikan bahwa apabila salah satu bagian mengalami penurunan tahanan isolasi, maka tahanan isolasi pada RK yang terjauh akan ikut terpengaruh. Untuk FEXT, harga yang terburuk adalah pada saluran yang terpanjang.
3. Setiap 1 RK diambil 1 DP yang terjauh. Hal ini dimaksudkan sama seperti pengambilan RK terjauh.

4. Setiap 1 DP cukup dicuplik 5 pasang urat kabel.
5. Bila dalam satu kelompok urat kabel terdapat suatu urat kabel yang putus atau terhubung singkat, maka yang diukur hanya urat kabel yang baik saja.

Dalam pelaksanaannya sulit diperoleh kondisi seperti di atas mengingat umumnya saluran yang digunakan adalah saluran yang terbaik, dapat diasumsikan bahwa saluran yang belum digunakan mungkin lebih buruk dari yang sudah dipergunakan, sehingga pencuplikan yang diambil dapat mewakili saluran keseluruhan

#### IV. 2.1 Spesifikasi Alat Ukur

Alat ukur yang dipergunakan yaitu Crosstalk Attenuation Tester T43/21 dengan spesifikasi alat sebagai berikut :

- ☐ Alat ini mudah dioperasikan, ringan dan konsumsi dayanya kecil, berasal dari baterai 9volt (6 x 1,5 volt).
- ☐ Konsumsi arus sekitar 35 mA dihasilkan untuk dapat beroperasi selama 40 secara kontinyu.
- ☐ Semua pengaturan ditempatkan pada panel dan mampu mengukur redaman dari 10 dB sampai 109 dB.
- ☐ Tahanan penutup (Tahanan murni) ; 600 ohm untuk kabel tanpa loading coil (LC) dan 1200 ohm untuk kabel dengan LC

#### IV.2.2 Cara Operasi Dan Pengukuran

Sebuah penguat (amplifier) pada receiver menerima sinyal dari saluran yang terganggu, dengan bantuan sebuah amplifier pengukur kalibrasi ke referensi level yang diambil dari transmitter, level yang telah ditentukan sebelumnya diatur agar match ke titik nol dari skala sewaktu mengadakan kalibrasi. Perbandingan dilakukan secara tidak langsung, dengan mengatur juga sinyal yang diukur ke nol.

Amplifier pengukur kalibrasi ini dilengkapi dengan dua pengatur dalam dB, yaitu Coarse dan Vernier. Penjumlahan dari dua posisi switch menghasilkan  $a$ , yang diukur dalam dB.

Persamaan untuk redaman didapat :<sup>56</sup>

$$a = 20 \log U_1 / U_2$$

di mana :

$U_1$  = tegangan pada sistem

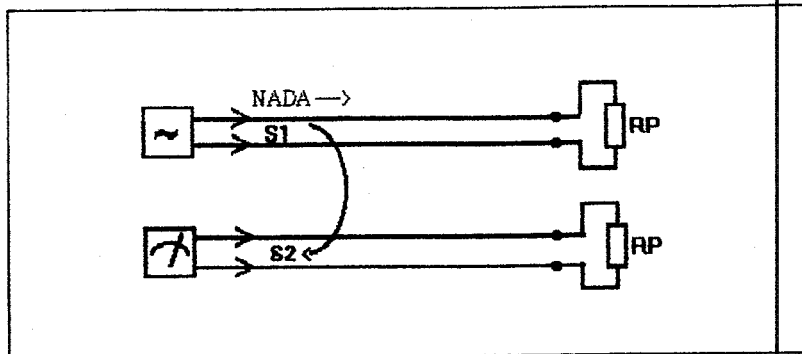
$U_2$  = tegangan gangguan sistem

##### IV. 2.2.1 Pengukuran NEXT

Near end crosstalk adalah kopling sinyal dari salah satu sistem ke sistem yang lain, sinyal diterima pada sistem 2 yang berada pada lokasi terdapatnya crosstalk, dan sinyal generator pada sistem 1.

---

<sup>56</sup> PT.TELKOM, Pengoperasian Crosstalk Attenuation Tester, Pusdiklat PT TELKOM, Bandung.

GAMBAR 4.1<sup>57</sup>

### RANGKAIAN PENGUKURAN NEXT

Bila near-end crosstalk berada di lokasi A dan B, maka kedua lokasi harus diukur. Rangkaian pengukuran NEXT seperti gambar 4.1, di mana generator dan level meter berada pada satu sisi.

#### III. 2.2.2 Pengukuran FEXT

Alat-alat ukur yang dipergunakan untuk pengukuran FEXT sama dengan alat untuk pengukuran NEXT, hanya penempatannya lokasi saluran yang diukur yang berbeda.

Far end crosstalk adalah kopling sinyal yang terjadi dari satu sistem ke sistem lain, sinyal yang diterima pada sistem 2 tidak berada pada lokasi sinyal generator dari sistem 1 tetapi pada ujung jauhnya (far-end).

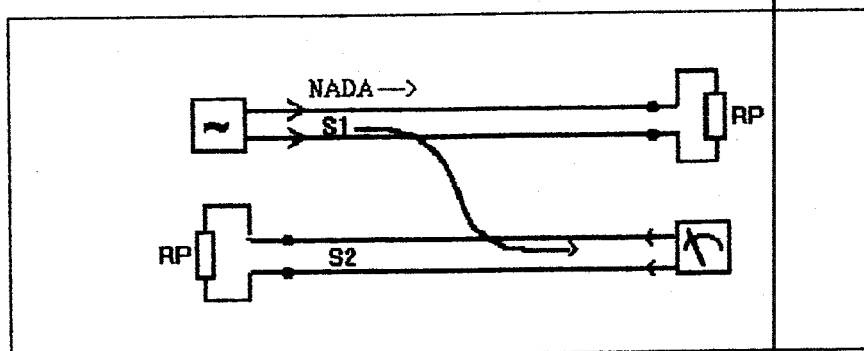
<sup>57</sup> PERUMTEL, *op.cit.* hal 17



Bila far end crosstalk ada di lokasi A dan B, maka dengan cara ini keduanya dapat langsung terukur. Rangkaian pengukuran FEXT seperti gambar 4.2, di mana generator dan level meter berada pada sisi yang berlawanan.

### IV.3 HASIL PENGUKURAN

Di sini akan ditampilkan kondisi masing-masing kabel dari tiap sentral yang akan diukur, dari data kondisi kabel tersebut, ternyata harga tahanan isolasinya rata-rata di bawah 1000 MOhm. Harga ini sebenarnya masih jauh di bawah spesifikasi yang telah ditentukan. Karena tahanan isolasi hanya berpengaruh terhadap redaman dan harga impedansi karakteristik kabel, maka hanya urat kabel yang tahanan isolasinya di atas 100 MOhm yang diambil. Harga ini diambil berdasar ketentuan-ketentuan operasionil yang dipergunakan oleh PT.TELKOM.



GAMBAR 4.2<sup>58</sup>  
RANGKAIAN PENGUKURAN FEXT

<sup>58</sup> Ibid, hal 18

Tabel 4-1 mencatat kondisi kabel untuk pasangan urat kabel (5) pair untuk masing-masing kabel primer, pada setiap lokasi dari jaringan lokal yang diukur.

Dari hasil pengukuran redaman, NEXT dan FEXT yang dilakukan oleh PT. TELKOM untuk wilayah pengukuran daerah Semarang, hanya diambil pada frekuensi 60 dan 80 kHz, karena dipergunakan pada penyaluran sinyal dengan format kode AMI/HDB-3 untuk frekuensi 80 kHz dan 4B/3T untuk frekuensi 60 kHz. Harga NEXT dan FEXT yang diukur merupakan redamannya sebagai patokan diambil harga yang terburuk atau harga terendah. Hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel 4-2.

TABEL 4-1<sup>59</sup>

KONDISI KABEL DI SEMARANG

Kabel	Putus	Hubung Singkat	Tahanan isolasi (M.ohm)	Jenis Kabel
P 55	-----	-----	1000 - 140	semua  kertas
P 21	-----	-----	150 - 100	
P 17	-----	-----	30 - 15	
P 28	-----	-----	1000 - 20	
P 55	-----	-----	100 - 20	
P 51	-----	2 pair	400 - 200	
P 27	-----	-----	16 - 8	
P 11	2 pair	-----	40 - 5	

<sup>59</sup> Ibid, hal 30

TABEL 4-2<sup>60</sup>  
HASIL PENGUKURAN REDAMAN NEXT DAN FEXT DI SEMARANG

Kabel	Frekuensi (kHz)	Redaman (dB)	NEXT (dB)	FEXT (dB)
P 55	60	28	75	95
	80	30	70	5
P 21	60	1,5	67	72,6
	80	2	65	70
P 23	60	4	65	78
	80	4,5	74	77
P 55	60	18	70	75
	80	20	69	75
P 51	60	10	77	77.5
	80	11	74	76.2

#### IV.4 ANALISA PERHITUNGAN DARI HASIL PENGUKURAN DI JARINGAN LOKAL

Dalam bab sebelumnya dikatakan bahwa batasan saluran yang menentukan apakah kabel lokal yang diukur dapat dipergunakan untuk menyalurkan sinyal digital, ditentukan oleh harga BER minimum yaitu sebesar  $10^{-6}$  untuk harga S/N yang besarnya tergantung dari format kode saluran yang dipergunakan. Berdasar batasan tersebut dapat diketahui apakah kabel lokal dari tiap sentral dapat dipakai untuk pemakaian sinyal ISDN.

<sup>60</sup> Ibid, hal 32

#### IV.3.1 Daya Derau (N)

Besarnya daya derau total akibat adanya NEXT, FEXT dan interferensi yang dibatasi sebesar  $10^{-6}$  watt adalah :<sup>61</sup>

$$N \text{ (dBw)} = 10 \log (\sigma_n + \sigma_f + \sigma_i)$$

di mana :

$\sigma_n$  : daya derau akibat adanya NEXT

$$\sigma_n = \text{antilog } 1/10 [P \text{ (dBw)} - \text{NEXT}]$$

$\sigma_f$  : daya derau akibat adanya FEXT

$$\sigma_f = \text{antilog } 1/10 [P \text{ (dBw)} - \text{FEXT}]$$

$\sigma_i$  : daya derau akibat interferensi

$$\sigma_i = 10^{-6} \text{ watt}$$

Dari hasil pengukuran pada tabel 4-2, maka harga daya derau total dengan memasukkan harga NEXT dan FEXT rata-rata dari masing-masing sentral untuk penyaluran sinyal informasi dengan frekuensi 80 kHz (AMI/HDB3) dan frekuensi 60 kHz (4B3T) yang besarnya dapat dilihat pada tabel 3-6 dan 3.7.

Dari tabel 4-3 harga P - NEXT adalah daya derau tanpa interferensi sedang harga N adalah daya derau dengan interferensi. Kalau kita perhatikan antara kedua harga tersebut, perbedaannya kecil sekali. Ini disebabkan pengaruh interferensi

---

<sup>61</sup> Ibid, hal 35

TABEL 4-3<sup>42</sup>

## DAYA DERAU TOTAL

D (mm)	f (kHz)	NEXT (dB)	P-NEXT(dBW)	$\sigma_n (10^{-5})$	N (dBW)
0,4	60	56,5	-41,5	7,0	-41,4
	80	58,3	-43,3	4,6	-43,2
0,6	60	56,4	-41,4	7,2	-41,4
	80	58,2	-42,3	5,0	-43,0

atau derau induksi yang terdapat pada saluran listrik sangat kecil. Harga minimum derau induksi, berdasar ketentuan CCITT besarnya adalah 1 mV atau dalam daya sama dengan 10 mW.

## IV.3.2 Daya Sinyal Yang Diterima (S)

Besarnya daya sinyal yang diterima dengan memasukkan faktor penurunan akibat adanya intersymbol interferensi sebesar 12,2 dB adalah :<sup>43</sup>

$$S \text{ (dBW)} = P \text{ (dBW)} - A \text{ (dB)} - 12.2$$

di mana :

P : daya sinyal yang dikirim P = 15 dBw.

A : redaman saluran (dari tabel 4-2 untuk tiap pasang urat kabel)

Dengan memasukkan harga redaman dari tiap pasangan urat pada tabel 4-2

<sup>42</sup> Ibid, hal 32

<sup>43</sup> Loc.cit

TABEL 4-4<sup>44</sup>

## DAYA DERAU TOTAL (N) UNTUK SEMARANG

Sentral	Frek. (kHz)	NEXT (dB)	FEXT (dB)	N (dBW)
Semarang	60	65	73	-44
	80	62	74	-48,5

ke persamaan di atas, maka akan diperoleh daya sinyal yang diterima (S) untuk masing-masing sentral seperti terlihat pada tabel 4-4.

## IV.3.3 Perbandingan Daya Sinyal Dengan Derau (S/N)

Perbandingan daya sinyal dengan daya derau besarnya dapat ditulis sebagai berikut :<sup>45</sup>

$$S/N \text{ (dB)} = S \text{ (dBW)} - N \text{ (dB)}$$

Dengan memasukkan harga S pada tabel 4-4 dan harga N pada tabel 4-2 ke persamaan di atas maka akan diperoleh harga S/N setiap kabel dari masing-masing sentral yang besarnya dapat dilihat pada tabel 4-5. Berdasarkan hasil perhitungan secara teori, besar S/N untuk harga BER minimal  $10^{-6}$  untuk format AMI/HDB3 (80 KHz) = 16.74 dB dan format 4B/3T (60 KHz) = 16.64 dB. Dari tabel 4-5 dapat dilihat bahwa sebagian besar kabel memenuhi persyaratan penyaluran.

<sup>44</sup> Ibid, hal 35

<sup>45</sup> Loc.cit

#### IV.3.4 Panjang Kabel Maksimum

Dengan ditetapkannya harga S/N dan besar daya derau total N pada tabel 4-3, maka harga daya sinyal pada penerima besarnya menjadi :

$$S(\text{dBW}) = S/N (\text{dB}) + N (\text{dBW}) \quad \dots\dots\dots (1)$$

Sedangkan besarnya redaman saluran adalah :

$$A (\text{dB}) = P (\text{dBW}) - S(\text{dBW}) + Si \quad \dots\dots\dots (2)$$

Si adalah faktor penurunan akibat ISI, yang besarnya adalah 12,2 dB.

TABEL 4.5<sup>66</sup>

PERBANDINGAN DAYA YANG DITERIMA DENGAN S/N DI DAERAH

SEMARANG

Sentral	kabel	Frek. (kHz)	Redaman (dB)	S (dBW)	S/N (dB)
Semarang	P55 (1)	60	28	-25,2	18,8
		80	30	-27,2	21,3
	P55 (2)	60	28	-15,2	28,2
		80	20	-17,2	31,3
	P21	60	1,5	1,3	45,3
		80	2	0,8	49,3
	P23	60	4	-1,2	42,8
		80	4,5	-1,7	46,8
	P51	60	10	-7,2	36,8
		80	11	-8,2	40,3

<sup>66</sup> Ibid, hal 38

Dengan daya sinyal yang dikirim besarnya 15 dBW, maka panjang kabel adalah :

$$l \text{ (km)} = (15 - S) / (\alpha / \text{km}) \quad \dots\dots\dots (3)$$

di mana  $\alpha/\text{km}$  adalah redaman per km yang besarnya dapat dilihat pada tabel 2-1

Dengan mensubstitusikan persamaan (1) dan (2) ke persamaan (3) maka panjang kabel menjadi :

$$l \text{ (km)} = (2.8 - S/N - N) / (\alpha / \text{km})$$

Pada tabel 4-6 dapat dilihat panjang kabel maksimum yang diperbolehkan untuk mencapai BER dengan diameter 0,4 dan 0,6 mm dan sinyal dengan format AMI/HDB3 dan 4B/3T.

TABEL 4-6<sup>67</sup>

PANJANG KABEL MAKSIMUM YANG DIPERBOLEHKAN

frekuensi (kHz)	S/N (dB)	D = 0,4 (mm)		D = 0,6 (mm)	
		N (dBW)	l (km)	N (dBW)	l (km)
60	16,64	-41,8	4,63	-41,36	6,84
80	16,74	-43,2	4,2	-43,0	6,26

<sup>67</sup> Loc.cit



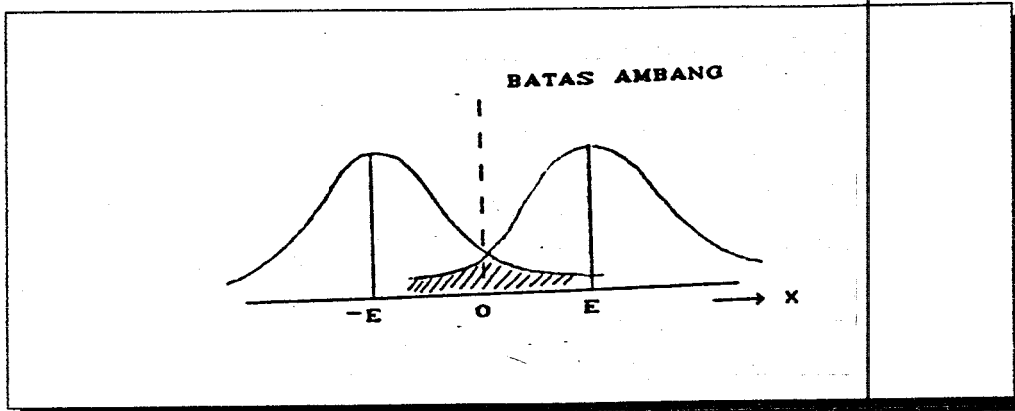
#### IV.4 UNJUK KERJA PENYALURAN SINYAL DIGITAL UNTUK AKSES DASAR ISDN

Sistem transmisi digital pada umumnya sudah memberikan keuntungan yang lebih baik dalam hal pencegahan distorsi pada pulsa yang ditransmisikan dibandingkan sistem transmisi analog. Tetapi bukan berarti sistem transmisi digital sama sekali bebas dari parameter-parameter penyebab distorsi pulsa, sebab parameter-parameter tersebut tetap muncul jika suatu pulsa ditransmisikan melalui media transmisi kabel. salah satu parameter tersebut yaitu crosstalk. Kabel ganda (multipair) yang digunakan untuk penyaluran pulsa digital memiliki kecenderungan terbesar mengalami crosstalk.

Kemampuan jaringan lokal untuk akses dasar ISDN ditunjukkan oleh BER (Bit Error Rate) merupakan parameter penting untuk menentukan kualitas penampilan sistem transmisi digital yang besarnya tergantung dari harga S/N pada ujung terima untuk setiap format kode yang dipakai. Dalam hal ini diasumsikan kemungkinan terjadinya noise / derau mengikuti distribusi Gaussian.

##### IV.4.1 BER vs SNR Untuk Kode Bipolar

Distribusi amplitudo cacat sinyal mengikuti distribusi deraunya, yang untuk kode bipolar/biner dinyatakan oleh gambar 4.3. Pada kode bipolar terjadi dua probabilitas kesalahan, yaitu :

GAMBAR 4.3<sup>68</sup>

## DISTRIBUSI AMPLITUDO CACAT SINYAL

1.  $P(-E/+E)$  : probabilitas kesalahan dari +E yang diartikan -E, terletak pada daerah arsis 0 ke +E.
2.  $P(+E/-E)$  : probabilitas kesalahan dari -E yang diartikan +E, terletak pada daerah arsis 0 ke -E.

$P(E)$  : probabilitas terjadinya " 1 "

$P(-E)$  : probabilitas terjadinya " 0 "

$$P(E) = P(-E) = 0.5$$

Harga BER adalah :

$$\begin{aligned} \text{BER} &= P(E).P(-E/+E) + P(-E).P(+E/-E) \\ &= 0.5 [ P(-E/+E) + P(+E/-E) ] \\ &= P(-E/+E) = P(+E/-E) \end{aligned}$$

Luas daerah yang diarsir adalah ;

<sup>68</sup> Carlson, A.B. Communication System, Mc.Graww Hill, 1966, hal 163

Luas daerah yang diarsir adalah ;

$$\begin{aligned} P(+E/-E) &= \int (1/\sqrt{2\pi}\sigma) e^{-(x-E)^2/2\sigma^2} dx \\ &= \int (1/\sqrt{2\pi}) e^{-u^2/2} du \end{aligned}$$

Substitusi persamaan tersebut ke dalam fungsi kesalahan komplementer (error function complementary - erfc) akan menghasilkan :

$$\text{BER} = 0.5 \text{ erfc} \left[ E/\sigma\sqrt{2} \right]$$

di mana ;

$$\text{erfc } x = 1 / \sqrt{2\pi} \int e^{-y^2} dy$$

$$\begin{aligned} y &= u / \sigma\sqrt{2} \\ x &= E / \sigma\sqrt{2} \end{aligned}$$

Apabila daya sinyal  $S = E / 2$  sedangkan daya derau  $N = \sigma^2/2$  maka diperoleh :

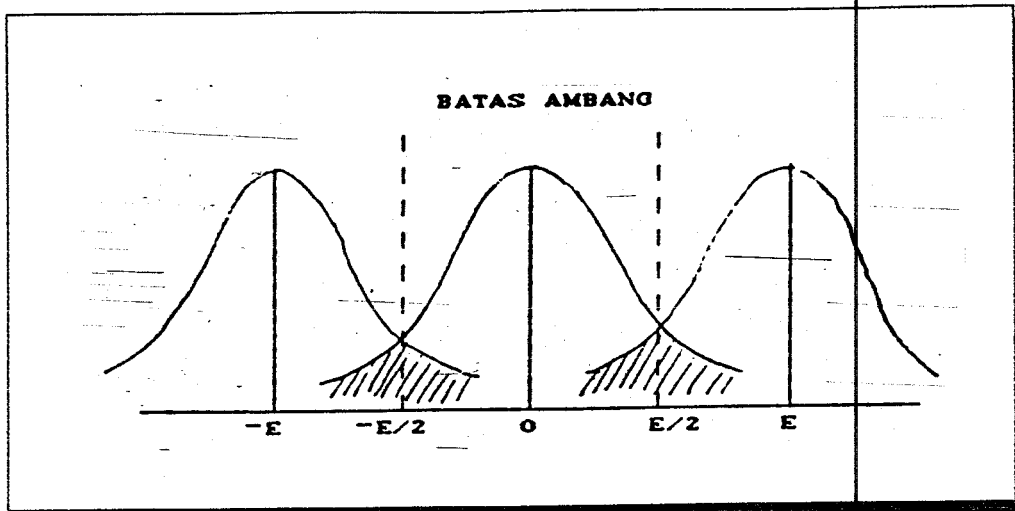
$$\text{BER} = 0.5 \text{ erfc} \sqrt{S/2N} = 0.5 \left[ 1 - \text{erf} \sqrt{S/2N} \right]$$

Dengan tabel error function didapat hubungan BER dan S/N yang dapat didekati dengan persamaan.

$$\text{SNR (dB)} = 4.65 + 11.42 \log x$$

#### IV.4.2 BER vs SNR Untuk Kode Terner (AMI, HDB3)

Pada kode terner terdapat tiga kondisi (+e, 0, -E) dengan batas ambang kesalahannya terletak pada tegangan +0.5E dan -0.5E. Kurva pada gambar 4.4.

GAMBAR 4.4<sup>69</sup>

## DISTRIBUSI AMPLITUDO CACAT SINYAL TERNER

1.  $P(0 / +E)$  : probabilitas kesalahan  $+E$  diartikan 0 berupa daerah arsis

$+0.5 E$  menuju  $\sim$

2.  $P(+E / 0)$  : probabilitas kesalahan 0 diartikan  $+E$  berupa daerah arsis

$E/2$  menuju  $\sim$

3.  $P(-E / 0)$  : probabilitas kesalahan 0 diartikan  $-E$  berupa daerah arsis

$-5 E$  menuju  $\sim$

4.  $P(0/-E)$  : probabilitas kesalahan  $-E$  diartikan 0 berupa daerah arsis

$-0.5 E$  menuju  $\sim$

dengan  $P(+E) = P(-E) = 0.5 \times 0.5 = 0.25$

<sup>69</sup> Ibid hal 164

$$\begin{aligned}
 &= 0.25 [ P(0/+E) + P(0/-E) ] + 0.5 [ P(-E/0) P(+E/0) ] \\
 &= 0.75 [ P(0/+E) + P(0/-E) ] \\
 &= 0.75 [ P(-E/0) P(+E/0) ]
 \end{aligned}$$

Dengan cara seperti sebelumnya diperoleh hasil substitusi ke error function sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{BER} &= 0.75 \text{erfc} \sqrt{S/8N} \\
 &= 0.75 [ 1 - \text{erf} \sqrt{S/8N} ]
 \end{aligned}$$

Dengan tabel error function didapat hubungan BER dan SNR, yang dapat didekati dengan persamaan :

$$\text{SNR (dB)} = 7.4 + 12 \log x$$

#### IV.4.3 BER vs SNR Untuk Kode 4B/3T

Pada penyandian 4B/3T terdapat 3 kemungkinan level tegangan yang sama besar yaitu  $P(+E) = P(-E) = P(0) = 1/3$ . Jadi kemungkinan terjadinya kesalahan rata-rata adalah :

$$\begin{aligned}
 \text{BER} &= 1/3 [ P(0/+E) + P(0/-E) ] + 1/3 [ P(-E/0) P(+E/0) ] \\
 &= 2/3 \text{erfc} \sqrt{S/8N} \\
 &= 2/3 [ 1 - \text{erf} \sqrt{S/8N} ]
 \end{aligned}$$

Secara pendekatan dapat ditulis ;

$$\text{SNR (dB)} = 7.3 + 12 \log x$$

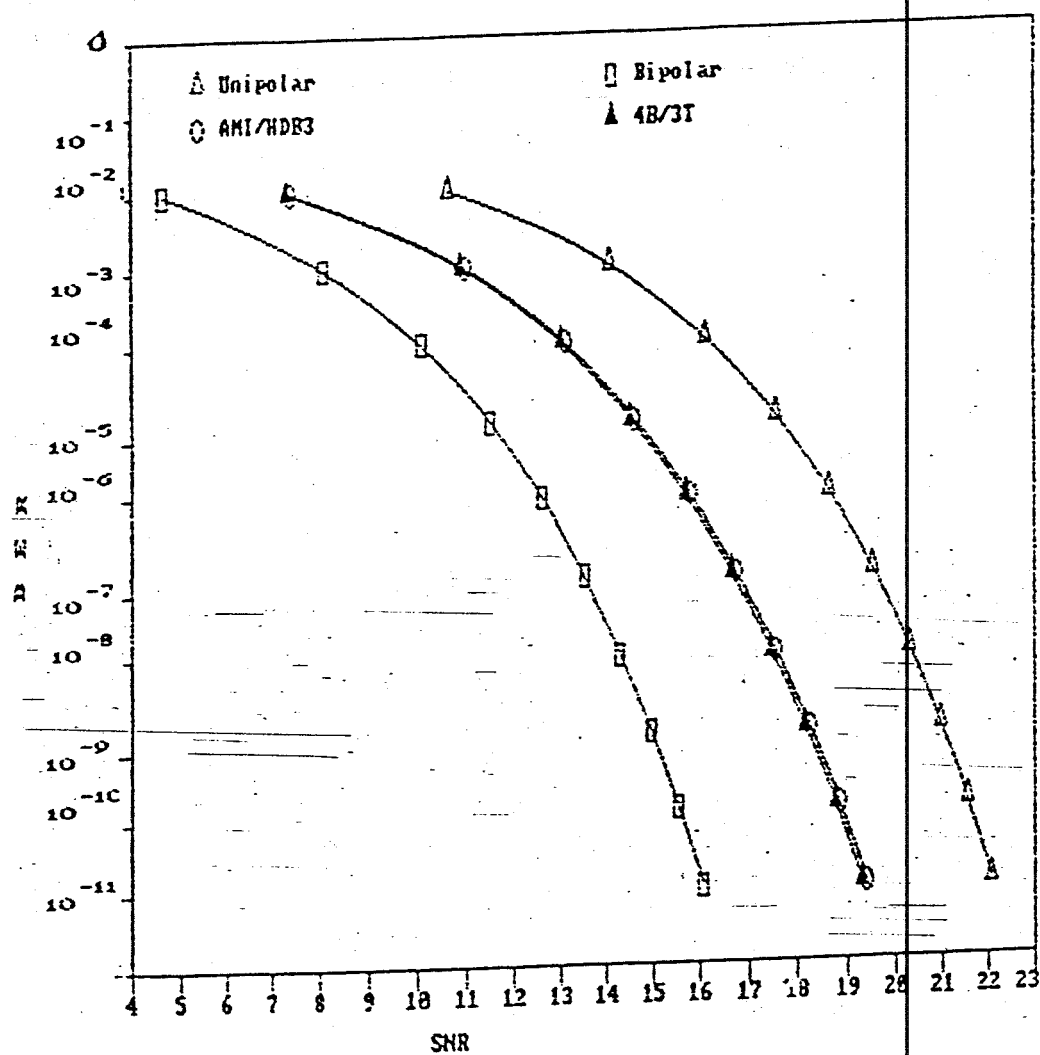
Hubungan BER dengan SNR untuk beberapa format kode yang berberda yang dapat diperoleh dengan analisa perhitungan menggunakan tabel error function dan hasilnya dapat dibuat secara pendekatan dalam bentuk tabel dan grafik.

TABEL 4.7

PERBANDINGAN SNR UNTUK BEBERAPA FORMAT KODE

BER [ $10^{-x}$ ]	S/N (dB)			
	Bipolar	Unipolar	AMI/HDB3	4B/3T
1	4,65	10,65	7,40	7,30
2	8,09	14,09	11,01	10,91
3	10,10	16,10	13,13	13,03
4	11,53	17,53	14,62	14,52
5	12,63	18,63	15,79	15,69
6	13,54	19,54	16,74	16,64
7	14,30	20,30	17,54	17,44
8	14,96	20,96	18,24	18,14
9	15,55	21,55	18,85	18,75
10	16,07	22,07	19,40	19,30
11	16,54	22,54	19,90	19,80
12	16,97	22,97	20,35	20,25

Selain dengan metode analisa perhitungan konversi BER dari SNR dapat dicari dengan menggunakan grafik perbandingan BER vs SNR untuk beberapa format kode yang berbeda. (Gambar 4.5)



GAMBAR 4.5

HUBUNGAN BER vs SNR UNTUK BEBERAPA FORMAT KODE

## BAB V

### PENCEGAHAN DAN PERBAIKAN CROSSTALK

---

Pencapaian ISDN harus melalui proses digitalisasi jaringan telepon meliputi sistem penyambungan dan transmisinya. Mengingat kondisi jaringan yang dirancang untuk sistem analog, maka perlu dikaji kelayakan jaringan tersebut dalam menyalurkan kode-kode digital.

Pada dasarnya kemampuan mendukung akses dasar ISDN sangat tergantung pada kualitas jaringan lokal yang ada. Seperti telah dijelaskan terdahulu bahwa salah satu gangguan terbesar dalam sistem transmisi jaringan lokal adalah crosstalk.

Cara-cara yang dilakukan untuk membatasi timbulnya crosstalk pada sistem transmisi digital yaitu :

1. Perancangan transmisi pada jaringan lokal
2. Metode transposisi saluran
3. Metode transmisi Full Duplex
4. Pembebanan Kabel
5. Rangkaian Phantom



## V.1 PERANCANGAN KABEL UNTUK TRANSMISI PADA JARINGAN LOKAL

Perencanaan kabel yang memenuhi persyaratan desain kabel yang lebih baik dapat mengatasi permasalahan loss saluran dan gangguan-gangguan transmisi minimum.

Batasan-batasan perencanaan meliputi besaran-besaran berikut :

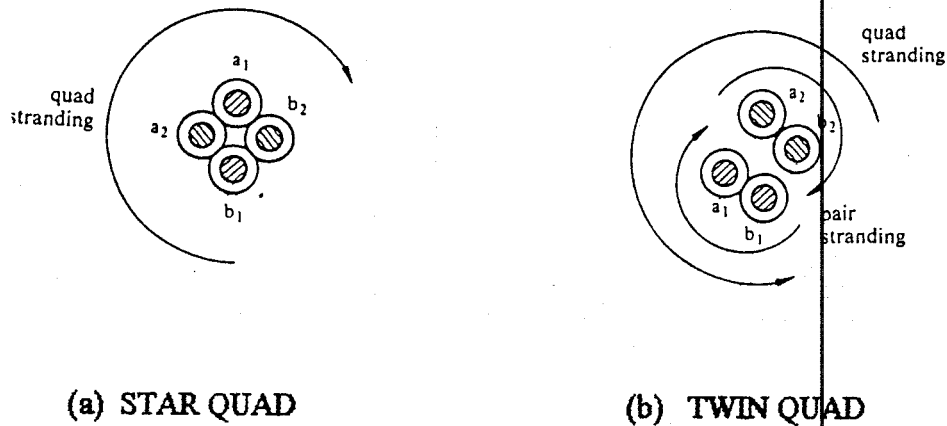
- ☐ crosstalk
- ☐ redaman karakteristik kabel
- ☐ impedansi karakteristik kabel
- ☐ pengaruh temperatur pada karakteristik kabel

Perencanaan kabel (dalam hal ini digunakan kabel setangkup) meliputi pemilihan :

1. Konstruksi Kabel
2. Perhitungan urat kabel (Jumlah Sistem)
3. Diameter penampang konduktor
4. Bahan isolasi

### V.1.1 Konstruksi Kabel

Ada dua tipe kabel berdasar cara penyusunan. Tipe pertama yaitu dengan cara empat kawat yang berasal dari dua pasang kabel digabungkan membentuk sebuah quad, tipe ini disebut dengan *star quad*. Tipe lainnya disebut *twin quad* atau *DM quad* (dari



GAMBAR 5.1  
TIPE-TIPE QUAD

nama pembuatnya Dieselhorst Martin). Tipe twin quad ini disusun dari kawat-kawat dengan pasangan tertentu dipilin bersama-sama membentuk suatu kabel kembar.

Kabel dengan tipe star quad ini lebih banyak dipakai untuk jaringan lokal karena percabangan ke unit-unit yang lebih kecil dapat dilaksanakan dengan mudah dan rapi. Kedua tipe kabel dapat dilihat pada gambar 5.1.

Pada sepasang kabel yang digunakan pada range frekuensi di mana  $\omega L' \ll R'$  maka dihasilkan karakteristik sebagai berikut :

- ☐ redaman ( $\alpha$ ) dan konstanta fasa ( $\beta$ ) sebanding dengan  $\sqrt{f}$
- ☐ Impedansi karakteristik ( $Z_c$ ) imajiner dan modulusnya bervariasi sesuai dengan  $1/\sqrt{f}$

**TABEL 5-1**  
**KARAKTERISTIK SEPASANG KABEL YANG SEIMBANG**

Nominal conductor diameter (copper)	Stranding star quad DM quad	$R'$ at 10°C	Unloaded $\alpha_{cp}$ at 800 Hz for 600 $\Omega$	Loaded $\alpha_{cp}$ at 800 Hz for 600 $\Omega$
mm		$\Omega/\text{km}$	dB/km	dB/km
0.4	x	267	2	—
0.6	x	119	0.85	0.43
0.8	x	66.8	0.56	0.25
0.9	x	52.8	0.48	0.22
1.0	x	42.8	0.43	0.17
1.2	x	29.7	0.35	0.13
1.4	x	21.8	0.29	0.10
1.5	x	19.0	0.26	0.087

\*Loaded:  $L_p = 88.5 \text{ mH}$  across 1830 m.

Untuk penghantar dengan diameter yang berbeda kapasitansi dan induktansi linier dengan isolasi polietilen secara pendekatan sekitar ;

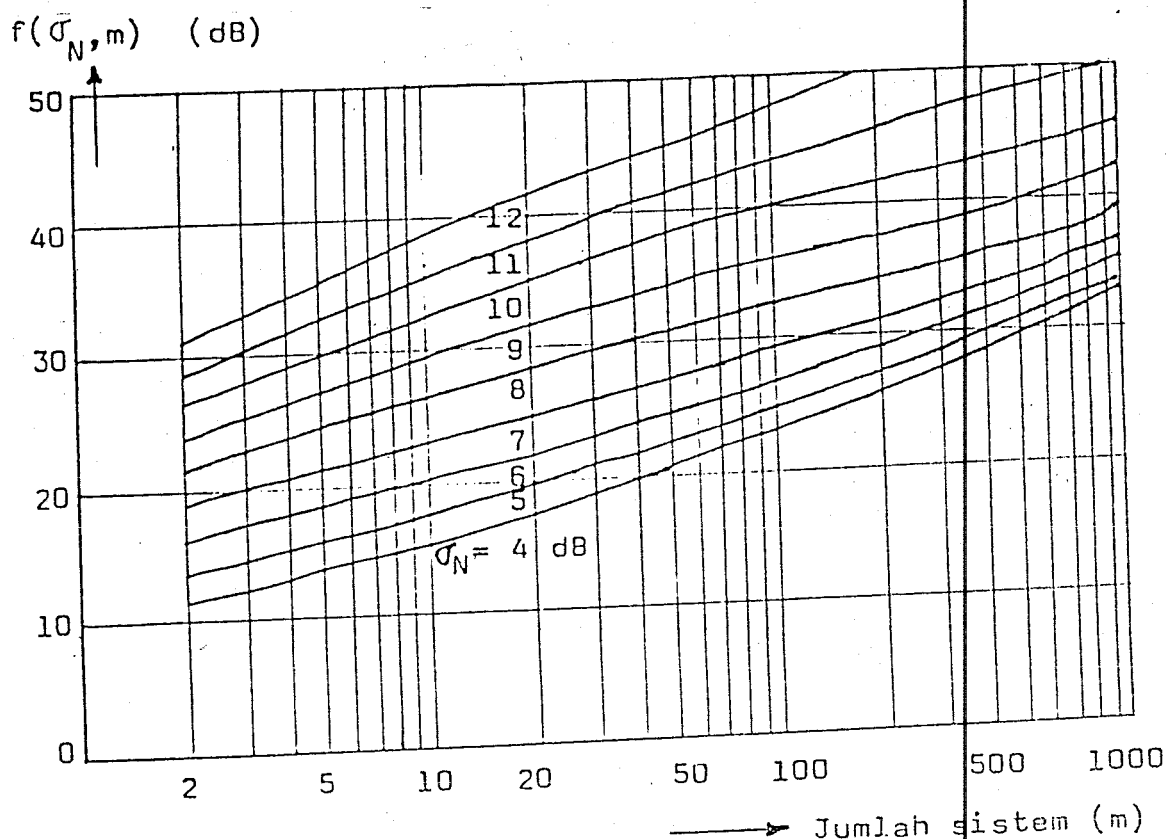
☐  $C' \sim 35 \text{ nF/km}$

☐  $L' \sim 0.7 \text{ mH/km}$

Karakteristik sepasang kabel yang seimbang untuk berbagai diameter yang berbeda pada tabel 5-1.

### V.1.2 Perhitungan Urat Kabel (Jumlah Sistem)

Jumlah sistem dalam kabel akan menentukan besar faktor interferensi kopling ( $f(\sigma, m)$ ), di mana faktor ini akan memperbesar crosstalk dalam suatu sistem. Suatu

GAMBAR 5.2<sup>50</sup>GRAFIK  $f(\sigma_N, m)$  TERHADAP JUMLAH SISTEM ( $m$ )

contoh faktor interferensi kopling pada harga standar deviasi NEXT ( $\sigma_N$ ) berbeda-beda sebagai fungsi jumlah sistem ( $m$ ) diperlihatkan pada gambar 5.2.

### V.1.3 Pemilihan Diameter Penampang Konduktor

Diameter konduktor akan menentukan karakteristik saluran transmisi. Besar diameter yang biasa dipakai pada jaringan lokal adalah antara 0,4 mm - 0,8 mm. Untuk jarak komunikasi yang lebih jauh dipakai diameter lebih besar, agar diperoleh karakteristik redaman yang lebih kecil. Disamping itu diameter konduktor juga

menentukan tebal selubung polietilen. Jaringan lokal di Indonesia menggunakan kabel dengan diameter 0.4 mm dan 0.6 mm untuk jaringan primer dan sekundernya.

#### V.1.4 Bahan Isolasi

Sebuah kabel terdiri dari beberapa pasang kawat yang terisolasi satu dengan yang lain. Hal ini dimaksudkan untuk mengurangi kopling induktif antar pasangan. Bahan isolasi konduktor akan menentukan rugi akibat kebocoran dan crosstalk antara saluran saluran dalam kabel.

Kabel yang menggunakan kertas sebagai bahan isolasi sangat sensitif terhadap pengaruh kelembaban sehingga rugi-rugi akan bertambah. Pada umumnya kabel yang dipergunakan untuk jaringan lokal di Indonesia berupa kabel berisolasi polietilen. Bila pada pengisian kabel terpengaruh oleh kelembaban maka konduktor akan terkorosi sehingga menyebabkan ketidak seimbangan kapasitansi. Tebal selubung dan persyaratan pembuatan kabel polietilen dapat dilihat pada tabel 5-2 dan 5-3.

Jenis kabel multipair berpenghantar tembaga yang baru dikembangkan adalah kabel *Foam Skin Polyethylene*. Perbedaannya dengan kabel terdahulu adalah pada isolasi urat, yang berupa Polietilen busa di bagian dalam dan lapisan tipis Polietilen pejal di bagian luar.

TABEL 5-3  
TEBAL SELUBUNG POLIETILEN

Jumlah Pasang		Tebal selubung Polietilen					
		Diameter penghantar					
		0.6 mm		0.8 mm		1.0 mm	
		nom	min	nom	min	nom	min
1	10	1.0	0.75	1.0	0.75	1.3	1.00
2	20	1.0	0.75	1.3	1.00	1.5	1.18
3	30	1.3	1.00	1.5	1.18	1.7	1.35
4	40	1.3	1.00	1.5	1.18	1.8	1.43
5	50	1.5	1.18	1.7	1.35	1.8	1.43
6	60	1.5	1.18	1.8	1.43	2.0	1.60
7	80	1.7	1.35	1.8	1.43	2.2	1.77
8	100	1.8	1.43	2.0	1.60	2.2	1.77
9	120	1.8	1.43	2.0	1.60	2.2	1.77

TABEL 5-4  
PERSYARATAN SELUBUNG KABEL POLIETILEN

Sifat-sifat	Nilai	Satuan
Massa jenis	$\geq 0.926$	g / cm <sup>2</sup>
Kuat - Tarik	$\geq 125$	kgf / cm <sup>2</sup>
Batas Pemuluran	$\geq 300$	%
Tahanan Jenis	$> 10^{15}$	Ohm-cm
Konstanta Dielektrikum	$\leq 2.34$	-
Rugi Dielektrikum pada 800 Hz	$< 2 \times 10^{-4}$	-
Kuat Dielektrikum	$\geq 40 \times 10^6$	V / m
Titik Leleh	$\geq 70$	° C
Pengkerutan pada 100 °C	$\leq 4$	%

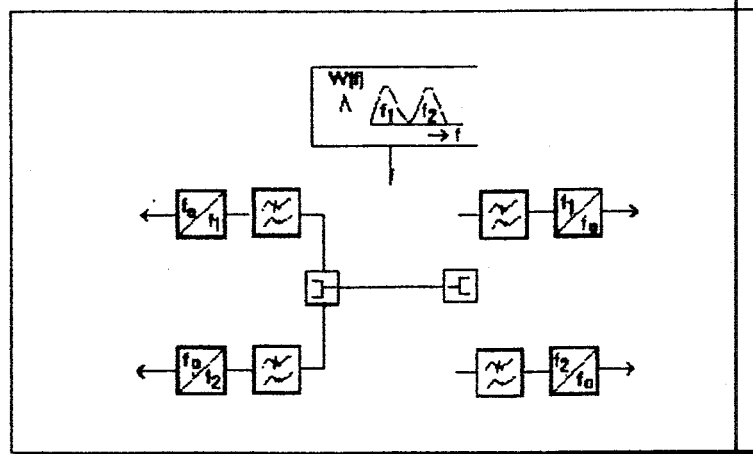
## V.2 METODE TRANSMISI FULL DUPLEX

Ada tiga metode yang digunakan untuk merealisasikan transmisi full duplex dengan akses dasar pada saluran dua kawat, yaitu *pemisahan frekuensi (FDM)*, *pemisahan waktu (TCM)* dan *Echo Cancellation (EC)*.

Terbaginya hubungan dua kabel menjadi empat kabel atau sebaliknya terjadi pada unit terminal rangkaian yang disebut 'hibrid'.

### V.2.1 Metode Pemisahan Frekuensi

Transmisi dua arah menggunakan metode ini dilakukan dengan memberikan frekuensi yang berbeda untuk hubungan dari pelanggan ke sentral atau untuk arah sebaliknya seperti gambar 5.3.



GAMBAR 5.3<sup>51</sup>  
PEMISAHAN FREKUENSI

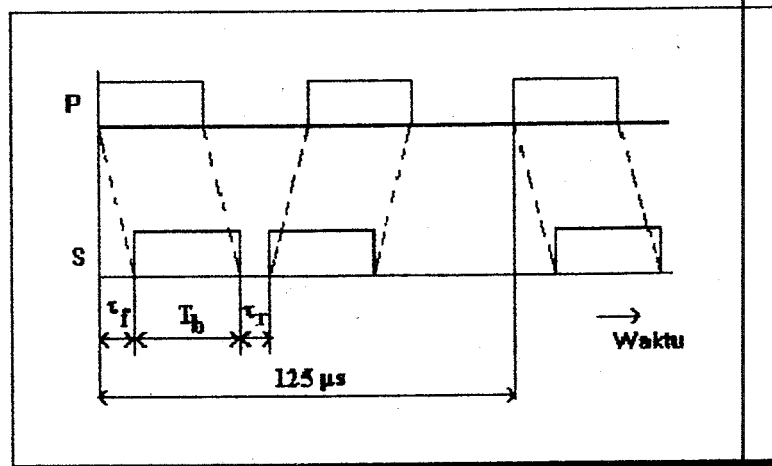
<sup>51</sup> Ekkelenkamp. H, op.cit , hal 256

Dengan memakai metode FDM dapat membatasi keberadaan crosstalk, namun ada kerugiannya yaitu lebar bidang frekuensi yang ganda.

### V.2.2 Metode Pemisahan Waktu (Time Compression Multiplexing)

Pada metode TCM pelanggan dari sentral secara bergantian saling mengirimkan sederetan bit atau burst. Dari satu arah hanya tersedia setengah dari waktu transmisi.

Jika kecepatan transmisi yang masuk adalah  $S_{mas}$ , maka untuk transmisi  $N$  bit tersedia  $N / S_{mas}$ . Jika waktu berjalan adalah  $\tau_f$ , waktu untuk memindahkan hubungan dari kirim menjadi terima ( $\tau_r$ ) dan kecepatan saluran adalah  $S_{sal}$  yang menyebabkan sederetan bit dikirim dalam alur waktu  $N/S$ , maka berlaku :



GAMBAR 5.4<sup>52</sup>  
PEMISAHAN WAKTU



$$\frac{N}{S_{mas}} = 2(\tau_f + \frac{N}{S_{sal}} + \tau_r)$$

Karena pada metode TCM ini informasi yang dikirim tidak bersamaan, maka redaman NEXT dapat dihindari.

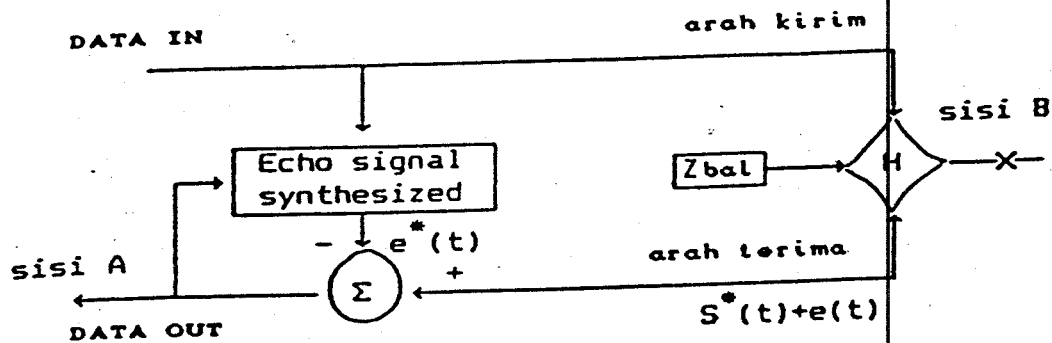
### V.2.3 Echo Cancellation (EC)

Pada jaringan lokal, sinyal pantul dapat terjadi karena ketidaksempurnaan rangkaian hybrid dan penggunaan diameter kabel yang berbeda. Pada jarak yang panjang, pantulan ini akan menimbulkan pulsa-pulsa baru yang berbeda phase dengan sinyal yang diinginkan. Untuk mengatasi hal ini digunakan *echo canceller*

Pada metode EC, bagian pemancar dan penerima dihubungkan ke saluran melalui rangkaian hybrid yang akan menyalurkan sinyal pada kedua saluran secara bersama-sama. Sinyal echo yang dibangkitkan oleh echo signal synthesizer berdasarkan data yang ditransmisikan dan dikurangkan pada sinyal data yang diterima sehingga didapat data yang diinginkan. Maka sinyal yang diterima di sisi A menjadi :

$$S(t) = S^*(t) + e(t) - e^*(t)$$

di mana  $S^*(t)$  adalah sinyal yang diperlukan,  $e(t)$  sinyal pantul dan  $e^*(t)$  adalah sinyal simulasi  $e(t)$ .

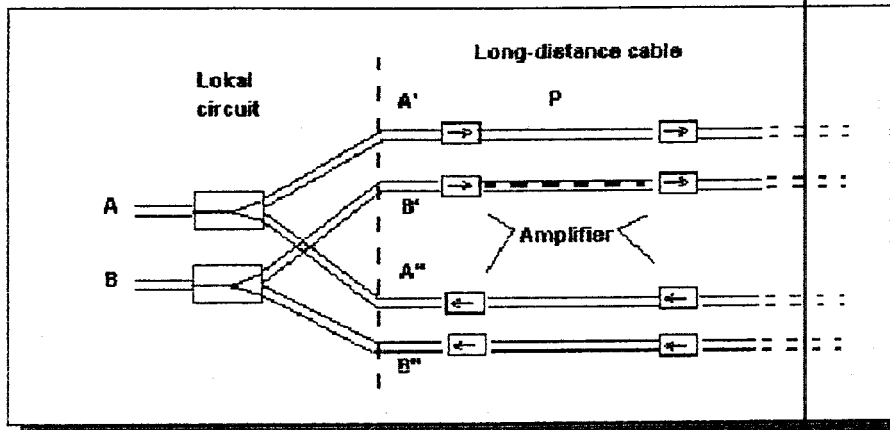


GAMBAR 5.5  
BLOK DIAGRAM MODE EC

### V.3 PENYILANGAN URAT KABEL (TRANSPOSISI)

Crosstalk sering muncul pada kabel setangkup. Pada kabel jenis ini terdapat sepasang kabel yang berisi 2 urat kabel dengan arah polarisasi yang berlawanan, satu urat untuk pengiriman dan urat lainnya untuk penerimaan. Bila urat kabel yang berdekatan dengan arah yang berbeda maka dimungkinkan terjadinya induksi. Dengan penyilangan, polaritas dibuat sama, sehingga tidak saling menginduksi.

Gambar 5.6 memperlihatkan saluran kabel setangkup yang terdiri dari kabel A dan B, dimana kabel A berisi pasangan urat kabel A' -A'' sedang kabel B berisi pasangan B'-B'', masing masing pasangan dengan polaritas berbeda. Dengan penyilangan didapat pasangan A'-B' dan A''-B'' dengan polaritas yang sama.



GAMBAR 5.7<sup>4</sup>  
METODE TRANSPOSISI SALURAN

Crosstalk yang diinduksikan dari rangkaian A' ke dalam rangkaian B' ditunjukkan oleh titik P. Crosstalk ini tidak dapat berjalan ke arah near-end pada rangkaian B, sebab searah dengan amplifier di antara saluran transmisi.

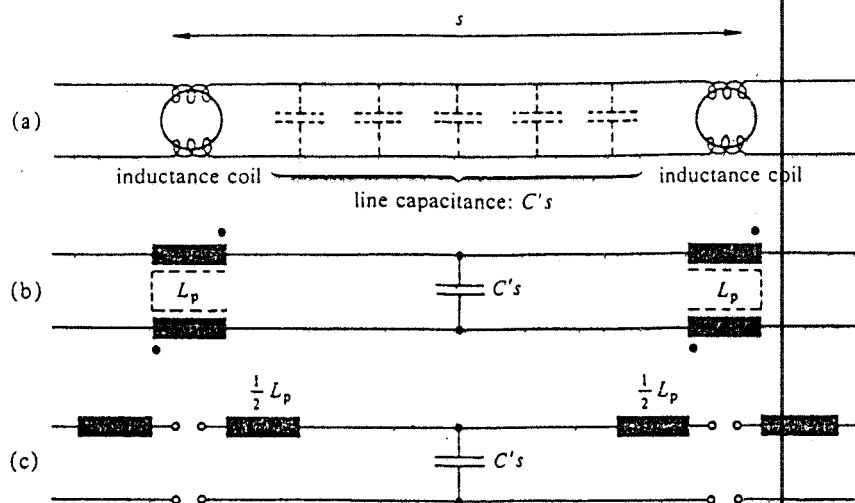
Transposisi ini merupakan salah satu cara mencegah terjadinya crosstalk pada sistem komunikasi. Metode ini menggunakan transpos (perpindahan) konduktor dari masing-masing rangkaian bertukar tempat pada interval yang tetap sepanjang saluran transmisi.

Transposisi ini dipasang pada saluran penangkal yaitu antara DP terdekat dengan kayu palang pada pelanggan, mengingat drop wire pergulung antara 500 m - 1000 m maka diusahakan jarak pemasangan sekitar itu.

#### V.4 PEMBEBANAN PADA KABEL BERPASANGANAN

Karakteristik saluran secara ideal adalah sbb:

- ☐  $\omega L' \gg R'$
- ☐ Efek kulit diabaikan
- ☐ Koefisien redaman ( $\alpha$ ) berkurang dan tidak dipengaruhi oleh frekuensi
- ☐ Koefisien konstanta fasa ( $\beta$ ) bertambah sebanding dengan frekuensi



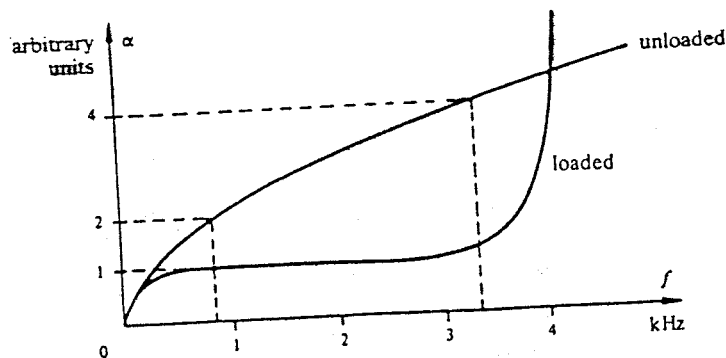
GAMBAR 5.6

SALURAN DENGAN PEMBEBANAN

(a) Lokasi Penambahan Kumparan

(b) Rangkaian Ekuivalen

(c) Penyusunan Ke Dalam Elemen LC Memakai Tipe T



GAMBAR 5.7

### KARAKTERISTIK SALURAN DENGAN DAN TANPA BEBAN

Saluran yang terbebani (loaded line) merupakan penyisipan kumparan induktansi yang diskrit ( $L_p$ ) pada interval yang tetap sepanjang saluran. Selanjutnya saluran bertindak sebagai filter low pass rangkaian LC seperti tampak pada gambar 5.6. Penambahan  $L_p$  ini membuat redaman konstan untuk frekuensi tidak melebihi frekuensi carrier.

$$f_c = \frac{1}{2\pi \sqrt{(0.5L_p)(0.5C'.s)}} = \frac{1}{\pi \sqrt{L_p.C'.s}}$$

Di atas frekuensi ini redaman akan meningkat dengan tajam hal ini sesuai dengan karakteristik LPF, gambar 5.7 merupakan grafik dari frekuensi vs redaman. Untuk saluran telepon secara umum dipakai nilai pendekatan sebagai berikut :

$$s = 1830 \text{ m} \quad C' = 35 \text{ nF/km} \quad L_p = 88.5 \text{ mH}$$

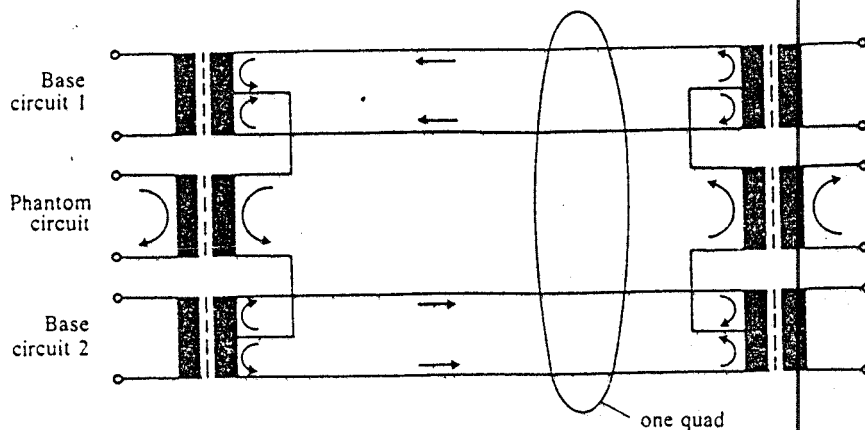
Dari data tersebut diperoleh :

- ☐  $f_c = 4228 \text{ Hz}$
- ☐  $Z_c = \sqrt{L_p/s \cdot C} = 1175 \text{ Ohm (riil dan konstan)}$
- ☐ waktu propagasi ( $t_p$ ) =  $\sqrt{L_p \cdot C/s}$

## V.5 RANGKAIAN PHANTOM

Keseimbangan pasangan mengikuti susunan dari rangkaian ketiga untuk tiap quad. Rangkaian Phantom ditambahkan pada dua rangkaian dasar pada dua pasangan. Dengan cara keseimbangan transformator, rangkaian phantom meminjam dua konduktor dari tiap-tiap pasangan yang paralel. Dari rangkaian phantom tersebut didapatkan :

- ☐ Tahanan yang sama untuk setengah dari rangkaian dasar
- ☐ Kapasitansi bertambah dengan faktor 2.7 untuk star quad dan 1.6 untuk twin quad



GAMBAR 5.8

RANGKAIAN PHANTOM

Crosstalk antara rangkaian phantom dan rangkaian dasar secara langsung tergantung pada keseimbangan transformator.

## **V.6 PERBAIKAN KEBOCORAN KABEL PADA JARINGAN LOKAL**

Walaupun sebelum pemasangan jaringan telepon telah diupayakan agar tidak terjadi crosstalk, namun karena suatu kondisi tertentu, maka kemungkinan timbulnya crosstalk tidak akan bisa dihindari. Untuk itu perlu diupayakan tindakan perbaikan saluran. Bila ada pengaduan dari pelanggan bahwa penerimaan pada pesawat teleponnya mengalami crosstalk, maka PT TELKOM sebagai pengelola jasa telekomunikasi akan mengadakan beberapa survey untuk mengetahui penyebab terjadinya crosstalk. Adapun cara-cara yang ditempuh adalah sebagai berikut :

### **V.6.1 Pemeriksaan kabel**

Proses pemeriksaan crosstalk yang berasal dari pengaduan para pelanggan yang disebabkan kebocoran saluran, harus melalui beberapa tingkatan mulai dari kabel penangkal sampai kabel primer.

#### **1. Pemeriksaan kabel penangkal**

Bila pada pemeriksaan kabel dalam rumah tidak ada kebocoran pendeteksian dilanjutkan pada kabel penangkal atau distribusi yang terdapat pada kotak pembagi sampai terminal di rumah pelanggan.

## 2. Pemeriksaan kabel sekunder.

Bila pada pemeriksaan pada kabel distribusi tidak ada kebocoran, maka pemeriksaan dilanjutkan pada tingkat kabel sekunder. Masing-masing pelanggan menempati satu urat kabel dan telah dicatat urat kabel tersebut berada pada kabel primer maupun kabel sekunder mana dia berada. Bila ternyata kebocoran yang terjadi sudah melebihi 10 % dari seluruh kapasitas kanal yang ada, maka akan dilakukan pembongkaran / penggantian kabel. Penggantian dilakukan untuk tiap simpul mana terjadi kebocoran. Bila kondisi kabel sudah sangat tua sehingga terlalu banyak sambungan yang harus diganti, maka baru diadakan penggantian seluruhnya.

## 3. Pemeriksaan kabel primer

Bila pada deteksi kebocoran pada kabel sekunder tersebut tidak terdapat kebocoran, maka pemeriksaan dilanjutkan ke kabel primer. Pada prinsipnya proses perbaikan pada kabel primer saat terjadi kebocoran, sama dengan cara perbaikan pada kabel sekunder.

### V.6.2 Penyediaan kanal cadangan

Bila kerusakan kabel terjadi pada seluruh saluran maka diusahakan untuk dialihkan ke urat kabel cadangan. Kanal cadangan ini dimaksudkan agar bila hanya



satu kanal saja yang mengalami crosstalk maka tidak perlu mengganti seluruh kabel yang akan membutuhkan biaya yang besar sekali.

1. Untuk kabel primer kanal cadangan yang harus disediakan 5 % dari seluruh kanal yang tersedia. Misalnya untuk kabel primer dengan kapasitas terpasang 2400 kanal, maka kanal cadangan yang tersedia :

$$5\% \times 2400 = 120 \text{ kanal.}$$

2. Untuk kabel sekunder 10 % dari jumlah kanal yang tersedia. Bila digunakan kabel sekunder dengan kapasitas terpasang 200 kanal, maka kanal cadangan yang tersedia :

$$10\% \times 200 = 20 \text{ kanal.}$$

Bila dilihat dari segi ekonomis, penyediaan kanal cadangan ini dianggap kurang efisien karena bila kanal cadangan ini diefektikan maka akan dapat diperoleh keuntungan yang lebih besar. Dengan alasan tersebut maka biasanya kanal yang dicanangkan untuk cadangan diberikan kepada pelanggan baru yang memerlukannya.

## B A B VI

### PENUTUP

---

#### VI.1 KESIMPULAN

Dari pembahasan mengenai karakteristik crosstalk pada saluran dan sistem transmisi yang telah dibahas pada bab-bab sebelumnya, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- ◆ Digitalisasi jaringan lokal adalah sub sistem yang akan diterapkan di Indonesia untuk menggantikan jaringan analog, karena pada dasarnya kemampuan mendukung akses langganan ISDN sangat tergantung pada kualitas jaringan lokal.
- ◆ Jaringan lokal mempunyai dua jenis karakteristik, yaitu karakteristik fisik dan elektris/transmisi.
  - Karakteristik fisik menyatakan ciri-ciri dan kondisi jaringan, yang meliputi panjang, diameter, jenis dan susunan pair dalam kabel serta perhitungan urat kabel dalam jaringan.
  - Karakteristik elektris meliputi tahanan  $R$ , induktansi  $L$ , kapasitansi bersama  $C$  dan tahanan bocor  $G$ .
- ◆ Empat parameter dasar yang menentukan penampilan kerja sistem transmisi digital memakai sistem kabel adalah bit error rate (BER), distorsi redaman, crosstalk dan

jitter. Di dalam sistem transmisi digital melalui penghantar dua kawat, efek crosstalk terasa cukup besar. Besar daya crosstalk tergantung dari Sinyal output dan pengaruh redaman sepanjang saluran transmisi.

- ☐ Crosstalk yaitu terjadinya lompatan energi dari satu urat kabel ke urat kabel lain dalam satu kabel atau antar kabel akibat peristiwa induksi dari kabel yang mengalami kebocoran. Ada dua tipe crosstalk yaitu near-end crosstalk (NEXT) dan far-end crosstalk (FEXT).

- NEXT yaitu crosstalk yang muncul pada ujung dekat saluran terinduksi.

- FEXT yaitu crosstalk yang muncul pada ujung jauh saluran terinduksi.

- ☐ Peristiwa induksi yang mengakibatkan crosstalk disebabkan adanya kopling pada saluran, yaitu kopling induktif dan kopling kapasitif.

- Kopling induktif, terjadi karena medan magnet dari salah satu saluran yang mempengaruhi saluran yang lain.

- Kopling kapasitif, terjadi karena adanya kapasitansi antara kedua konduktor saluran.

- ☐ Batasan yang menentukan apakah kabel lokal yang diukur dapat dipergunakan untuk menyalurkan sinyal digital ditentukan oleh harga BER minimum yang diperbolehkan yaitu sebesar  $10^{-6}$  untuk harga S/N yang besarnya tergantung format sinyal yang dipergunakan, untuk frekuensi 80 kHz (format AMI, HDB-3) S/N minimum = 16.74 dB dan frekuensi 60 kHz (format 4B/3T) = 16.64 dB. Dari hasil pengukuran dan analisa pengukuran untuk redaman, NEXT dan FEXT diperoleh harga S/N yang

memenuhi persyaratan tersebut, ini berarti kabel pada jaringan lokal tersebut memenuhi syarat untuk penyaluran sinyal digital 144 Kb/s.

◆ Cara-cara pencegahan crosstalk pada jaringan lokal yaitu :

- 1 Perencanaan kabel transmisi yang meliputi perhitungan urat kabel pemilihan diameter penampang konduktor dan pemakaian bahan isolasi yang tepat..
- 2 Metode penyaluran sinyal digital yaitu full dupleks dengan pemisahan frekuensi atau dengan pemisahan waktu pengiriman pulsa..
- 3 Penyilangan urat kabel atau Transposisi
- 4 Penambahan rangkaian Phantom pada saluran.
- 5 Pemberian beban pada kabel sehingga berfungsi seperti filter LC.

## VL2 SARAN-SARAN

- ☐ Digitalisasi jaringan lokal merupakan sistem teknologi yang baru dan memerlukan investasi yang besar dalam rangka evolusi dari jaringan lokal analog menuju ke era digitalisasi sehingga dengan potensi yang telah ada harus dapat dimanfaatkan seefektif mungkin.
- ☐ Dalam rangka transfer teknologi dari teknologi analog ke digital tersebut kendala terbesar adalah crosstalk yang sering muncul pada saluran pelanggan menggunakan kabel berpasangan, untuk itu diperlukan perencanaan yang matang sebelum peralatan diinstalasi.

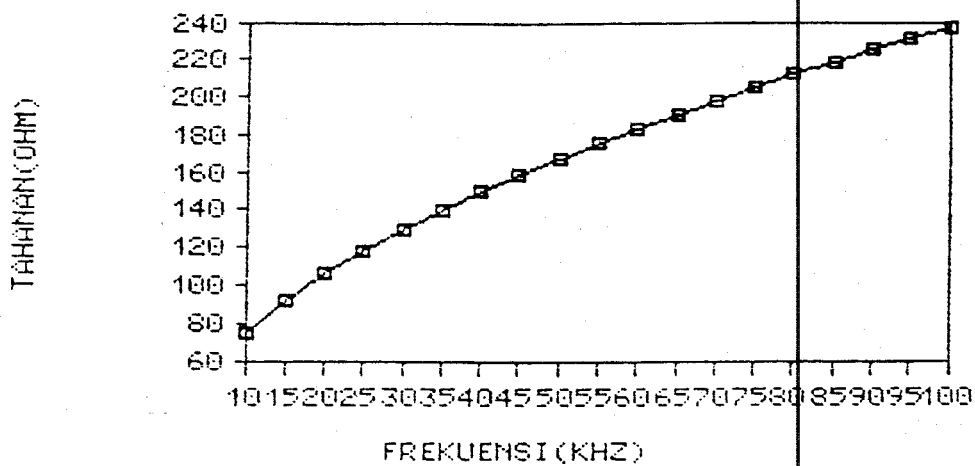


MILIK PERPUSTAKAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH - NOPEMBER

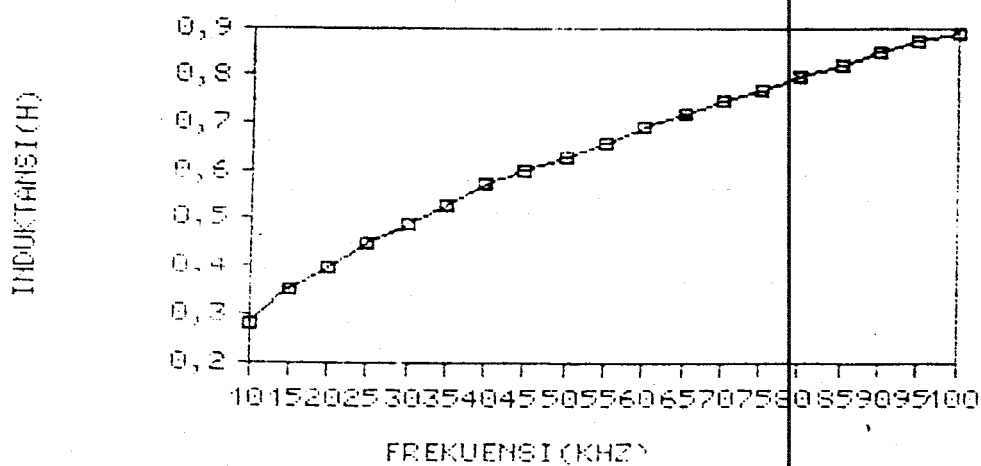
## DAFTAR PUSTAKA

1. Bellamy, John G., "Digital Telephony", John Willey and sons, New York, 1973.
2. Bernard E. Keiser and Eugene Strange, " Digital Telephon And Network Integration ", Van Nostrand Reinhold Co.,New York, 1985.
3. Dogan Tugal & Osman Tugal, "Data Transmission Analysis Design Aplication", Mc.Graw-Hill Book Co, New York, 1982
4. Ekkelenkamp, H., "Aspek-Aspek Transmisi Dari System Komunikasi Digital", Nepostel, Jakarta, 1985
5. Freeman, Roger L., "Telecommunication Transmission Handbook" , John Willey and sons, New York, 1982.
- 6- K. Trondle and G. Soder , " Optimization of Digital Transmission System ", Artech House Inc., London, 1987.
7. Lee, Edward A., dan Messerschmit, David G., "Digital Communication", Kwwer Academic Publisher, Boston, 1988.
8. Lydia Pinarsita, "Kabel", Pusklat TELKOM, Bandung , 1992.
9. Pusklat TELKOM, "Transmisi Data", Pusklat TELKOM, Bandung, 1990.
10. Pusklat TELKOM, "Pengantar Teknik Jaringan", Pusklat TELKOM, Bandung, 1989.

11. Pusdiklat TELKOM, "Penelitian Kualitas Jaringan Lokal", Pusdiklat TELKOM, Bandung, 1988.
12. Piere Girard Fontulliet, "Telecommunication System", Artech House Inc., Norwood, 1986.
13. Rossie A. M., BSC. MSC. PHD., "Information And Communication Theory", Van Nostrand Reinhold Co., London, 1976.
14. Sam Shanmugam K., "Digital and Analog Communicattion System", John Willey & Sons Inc., New York, 1979.
15. Smith, David R, "Digital Transmission System", Van Nostrand Reinhold Co, New York, 1985.
16. Werner Schubert, "Communication Cable And Transmission System", Siemens Aktiengesellschoft, Berlin & Munich, 1976.

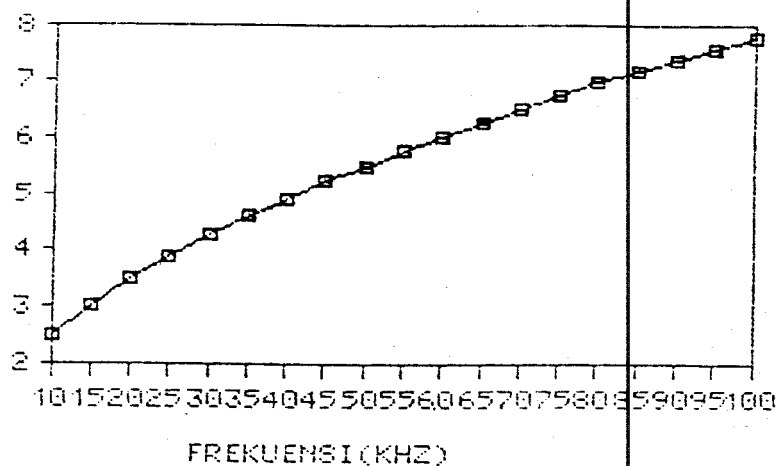


GRAFIK TAHANAN SEBAGAI FUNGSI FREKUENSI  
DENGAN DIAMETER KABEL 0.4mm



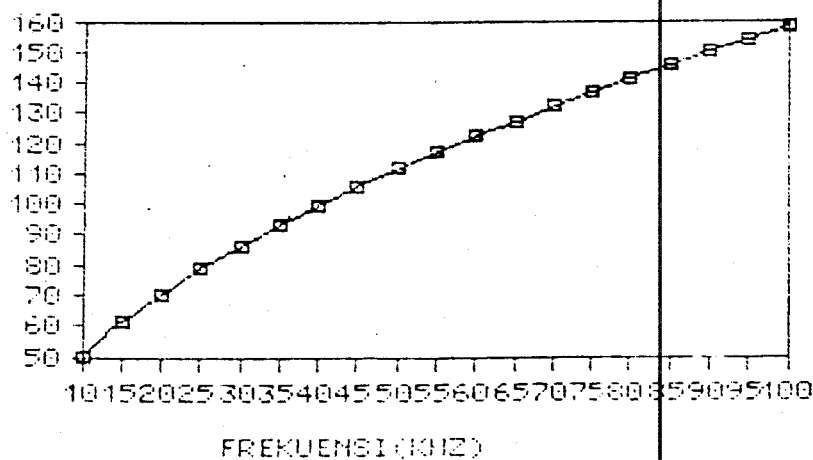
GRAFIK INDUKTANSI SEBAGAI FUNGSI FREKUENSI  
DENGAN DIAMETER KABEL 0.4 mm

REDAMAN (dB/KHz)



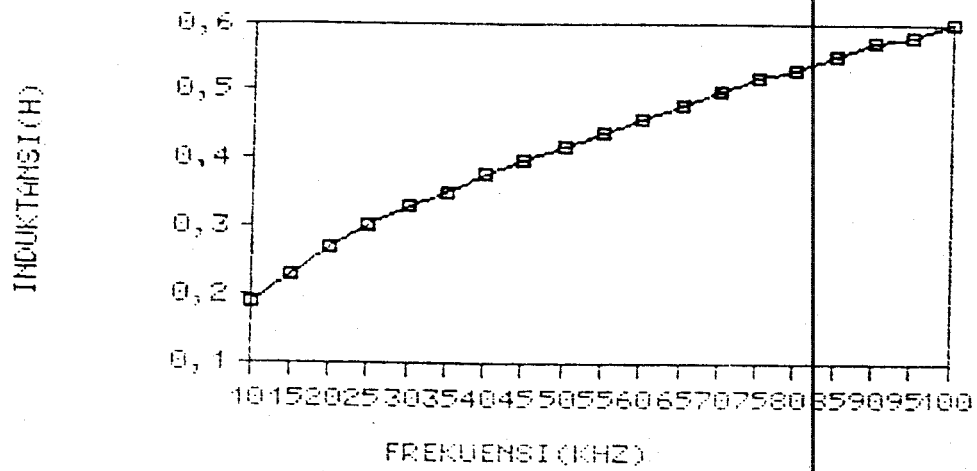
GRAFIK REDAMAN SEBAGAI FUNGSI FREKUENSI  
DENGAN DIAMETER KABEL 0.4mm

TAHANAN (OHM)

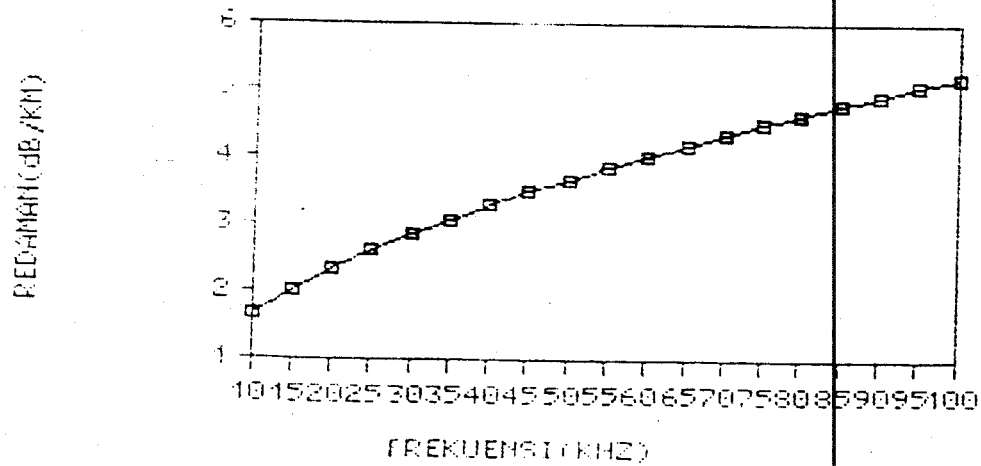


GRAFIK TAHANAN SEBAGAI FUNGSI FREKUENSI  
DENGAN DIAMETER KABEL 0.6mm



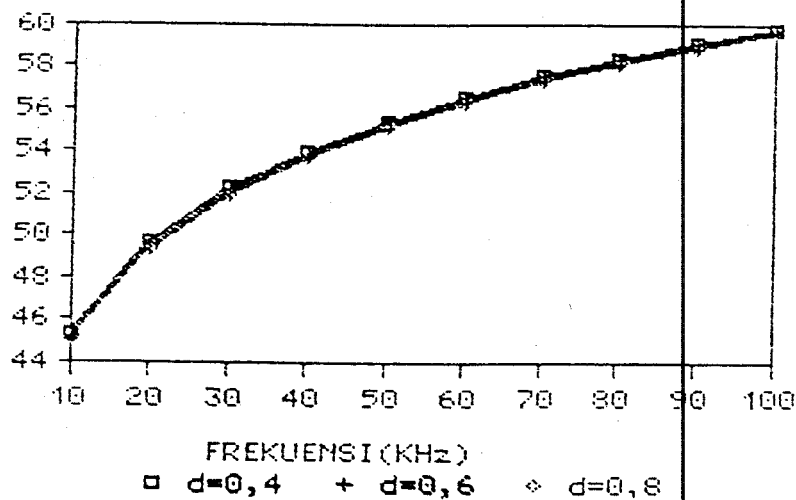


GRAFIK INDUKTANSI SEBAGAI FUNGSI FREKUENSI  
DENGAN DIAMETER KABEL 0.6mm



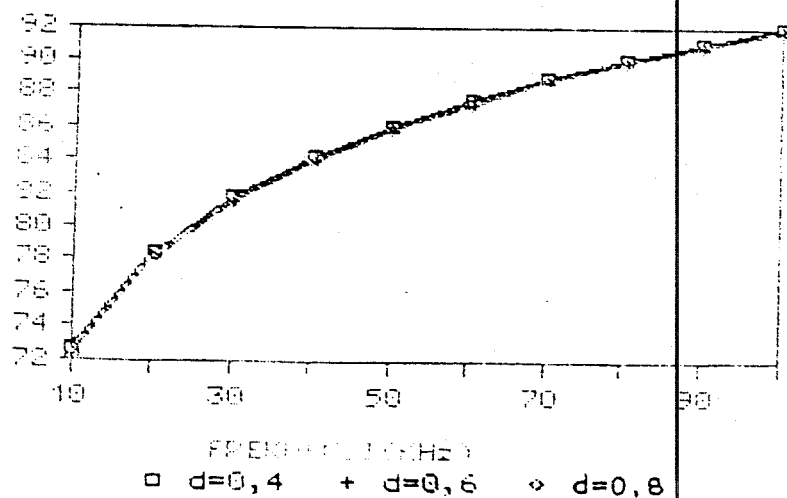
GRAFIK REDAMAN SEBAGAI FUNGSI FREKUENSI  
DENGAN DIAMETER KABEL 0.6mm

NEXT (dB)



GRAFIK NEXT SEBAGAI FUNGSI FREKUENSI PADA  
DIAMETER KABEL 0.4mm, 0.6mm DAN 0.8mm

FEXT (dB)



GRAFIK FEXT SEBAGAI FUNGSI FREKUENSI PADA  
DIAMETER KABEL 0.4mm, 0.6mm DAN 0.8mm

# LAMP I R A N E

## FUNGSI ERROR KOMPLEMENTER

The gaussian probability density function with zero mean and unit variance is

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-x^2/2}. \quad (G.1)$$

The error function,  $\text{Erf}(x)$ , is defined here as

$$\text{Erf}(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2} dz. \quad (G.2)$$

Note that  $\text{Erf}(0) = \frac{1}{2}$  and  $\text{Erf}(\infty) = 1$ . The complementary error function,  $\text{Erfc}(x)$ , is defined as†

$$\text{Erfc}(x) = 1 - \text{Erf}(x) = \int_x^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2} dz. \quad (G.3)$$

Tabulated numerical values of Eq. (G.3) are given in Tables G.1 and G.2. For large values of  $x$ , this can be approximated by

$$\text{Erfc}(x) \approx \frac{1}{x\sqrt{2\pi}} \left[ 1 - \frac{1}{x^2} \right] e^{-x^2/2}. \quad (G.4)$$

The percentage error in the approximation is about -2% for  $x = 3$ , -1% for  $x = 4$ , and the approximation becomes increasingly better for larger values of  $x$ . An approximation with accuracy improved by about one order of magnitude over that of Eq. (G.4) is‡

$$\text{Erfc}(x) \approx \left[ \frac{1}{(1-a)x + a\sqrt{x^2+b}} \right] \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-x^2/2}, \quad (G.5)$$

where  $a = 1/\pi$  and  $b = 2\pi$ .

†  $\text{Erfc}(x)$ , as used here, is also designated as  $Q(x)$  in some texts.

‡ P. O. Börjesson and C. W. Sundberg, "Simple Approximations of the Error Function  $Q(x)$  for Communications Applications," *IEEE Trans. Commun.*, COM-27 (March 1979): 639-643.

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt, \quad (\text{G.6})$$

and the corresponding complementary error function is

$$\operatorname{erfc}(x) = 1 - \operatorname{erf}(x). \quad (\text{G.7})$$

Our particular choice of definition is more convenient for work in communication systems. It is because of the above differences that we use capital letters for our definitions.

Using a change of variables, it is easily seen that the relations between Eqs. (G.2) and (G.3) and Eqs. (G.6) and (G.7) are

$$\operatorname{Erf}(x) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \operatorname{erf}\left(\frac{x}{\sqrt{2}}\right), \quad (\text{G.8})$$

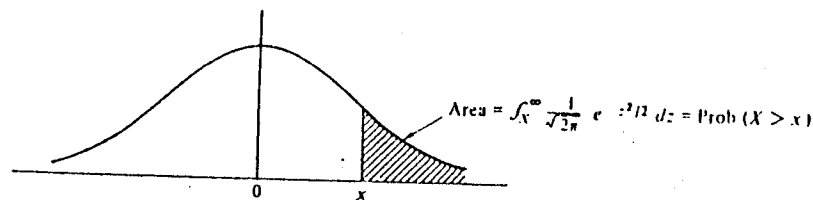
$$\operatorname{Erfc}(x) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{\sqrt{2}}\right), \quad (\text{G.9})$$

or

$$\operatorname{erf}(x) = 2 \operatorname{Erf}(\sqrt{2}x) - 1, \quad (\text{G.10})$$

$$\operatorname{erfc}(x) = 2 \operatorname{Erfc}(\sqrt{2}x). \quad (\text{G.11})$$

Table G.1 Values of  $\operatorname{Erfc}(x)$  vs.  $x$ ,†



	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	.5000	.4960	.4920	.4880	.4840	.4801	.4761	.4721	.4681	.4641
0.1	.4602	.4562	.4522	.4483	.4443	.4404	.4364	.4325	.4286	.4247
0.2	.4207	.4168	.4129	.4090	.4052	.4013	.3974	.3936	.3897	.3859
0.3	.3821	.3783	.3745	.3707	.3669	.3632	.3594	.3557	.3520	.3483
0.4	.3446	.3409	.3372	.3336	.3300	.3264	.3228	.3192	.3156	.3121
0.5	.3085	.3050	.3015	.2981	.2946	.2912	.2877	.2843	.2810	.2776
0.6	.2743	.2709	.2676	.2643	.2611	.2578	.2546	.2514	.2483	.2451
0.7	.2420	.2389	.2358	.2327	.2296	.2266	.2236	.2206	.2177	.2148
0.8	.2119	.2090	.2061	.2033	.2005	.1977	.1949	.1922	.1894	.1867
0.9	.1841	.1814	.1788	.1762	.1736	.1711	.1685	.1660	.1635	.1611
1.0	.1587	.1562	.1539	.1515	.1492	.1469	.1446	.1423	.1401	.1379
1.1	.1357	.1335	.1314	.1292	.1271	.1251	.1230	.1210	.1190	.1170

† From J. S. Bendat and A. G. Piersol, *Random Data: Analysis and Measurement Procedures*, N.Y.: Wiley-Interscience, 1971, and D. B. Owen, *Handbook of Statistical Tables*, Reading, Mass.: Addison-Wesley Pub. Co., 1962, both by permission; courtesy of the U.S. Energy Research and Development Administration.

	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
1.2	.1151	.1131	.1112	.1093	.1075	.1056	.1038	.1020	.1003	.0985
1.3	.0968	.0951	.0934	.0918	.0901	.0885	.0869	.0853	.0838	.0823
1.4	.0808	.0793	.0778	.0764	.0749	.0735	.0721	.0708	.0694	.0681
1.5	.0668	.0655	.0643	.0630	.0618	.0606	.0594	.0582	.0571	.0559
1.6	.0548	.0537	.0526	.0516	.0505	.0495	.0485	.0475	.0465	.0455
1.7	.0446	.0436	.0427	.0418	.0409	.0401	.0392	.0384	.0375	.0367
1.8	.0359	.0351	.0344	.0336	.0329	.0322	.0314	.0307	.0301	.0294
1.9	.0287	.0281	.0274	.0268	.0262	.0256	.0250	.0244	.0239	.0233
2.0	.0228	.0222	.0217	.0212	.0207	.0202	.0197	.0192	.0188	.0183
2.1	.0179	.0174	.0170	.0166	.0162	.0158	.0154	.0150	.0146	.0143
2.2	.0139	.0136	.0132	.0129	.0125	.0122	.0119	.0116	.0113	.0110
2.3	.0107	.0104	.0102	.00990	.00964	.00939	.00914	.00889	.00866	.00842
2.4	.00820	.00798	.00776	.00755	.00734	.00714	.00695	.00676	.00657	.00639
2.5	.00621	.00604	.00587	.00570	.00554	.00539	.00523	.00508	.00494	.00480
2.6	.00466	.00453	.00440	.00427	.00415	.00402	.00391	.00379	.00368	.00357
2.7	.00347	.00336	.00326	.00317	.00307	.00298	.00289	.00280	.00272	.00264
2.8	.00256	.00248	.00240	.00233	.00226	.00219	.00212	.00205	.00199	.00193
2.9	.00187	.00181	.00175	.00169	.00164	.00159	.00154	.00149	.00144	.00139

Table G.2 Values of  $\operatorname{Erfc}(x)$  for large  $x$ .

$x$	10		$x$	10		$x$	10	
	$\log x$	$\operatorname{Erfc}(x)$		$\log x$	$\operatorname{Erfc}(x)$		$\log x$	$\operatorname{Erfc}(x)$
3.00	4.77	1.35E-03	4.00	6.02	3.17E-05	5.00	6.99	2.87E-07
3.05	4.84	1.14E-03	4.05	6.07	2.56E-05	5.05	7.03	2.21E-07
3.10	4.91	9.68E-04	4.10	6.13	2.07E-05	5.10	7.08	1.70E-07
3.15	4.98	8.16E-04	4.15	6.18	1.66E-05	5.15	7.12	1.30E-07
3.20	5.05	6.87E-04	4.20	6.23	1.33E-05	5.20	7.16	9.96E-08
3.25	5.12	5.77E-04	4.25	6.28	1.07E-05	5.25	7.20	7.61E-08
3.30	5.19	4.83E-04	4.30	6.33	8.54E-06	5.30	7.24	5.79E-08
3.35	5.25	4.04E-04	4.35	6.38	6.81E-06	5.35	7.28	4.40E-08
3.40	5.31	3.37E-04	4.40	6.43	5.41E-06	5.40	7.32	3.33E-08
3.45	5.38	2.80E-04	4.45	6.48	4.29E-06	5.45	7.36	2.52E-08
3.50	5.44	2.33E-04	4.50	6.53	3.40E-06	5.50	7.40	1.90E-08
3.55	5.50	1.93E-04	4.55	6.58	2.68E-06	5.55	7.44	1.43E-08
3.60	5.56	1.59E-04	4.60	6.63	2.11E-06	5.60	7.48	1.07E-08
3.65	5.62	1.31E-04	4.65	6.67	1.66E-06	5.65	7.52	8.03E-09
3.70	5.68	1.08E-04	4.70	6.72	1.30E-06	5.70	7.56	6.00E-09
3.75	5.74	8.84E-05	4.75	6.77	1.02E-06	5.75	7.60	4.47E-09
3.80	5.80	7.23E-05	4.80	6.81	7.93E-07	5.80	7.63	3.32E-09
3.85	5.85	5.91E-05	4.85	6.86	6.17E-07	5.85	7.67	2.46E-09
3.90	5.91	4.81E-05	4.90	6.90	4.79E-07	5.90	7.71	1.82E-09
3.95	5.97	3.91E-05	4.95	6.95	3.71E-07	5.95	7.75	1.34E-09

## USULAN TUGAS AKHIR

A. JUDUL TUGAS AKHIR : STUDI TENTANG KARAKTERISTIK CROSSTALK DAN PENGARUHNYA TERHADAP SISTEM TRANSMISI PADA SALURAN PELANGGAN

B. RUANG LINGKUP : - Telefoni Digital  
- Sistem Komunikasi  
- Sist. Transmisi Telekomunikasi  
- Teknik Jaringan Telekomunikasi

C. LATAR BELAKANG : Dalam saluran telepon kita tidak bisa mengabaikan faktor-faktor noise yang ada. Diantara noise-noise tersebut adalah crosstalk.

Crosstalk adalah pengkopelan energi dari satu sirkuit ke sirkuit lain yang dihasilkan dalam bentuk Interferensi atau dengan kata lain crosstalk akan terjadi bila suatu lintasan sinyal yang tidak diinginkan terkopel dengan sinyal yang dikehendaki.

Ada dua macam Crosstalk :

1. NEXT : Near - End Crosstalk

Terjadi bila sirkuit pengganggu (disturbing circuit) melalui arah yang berlawanan dengan sirkuit terganggu (disturbed circuit).

## 2. FEXT : Far - End Crosstalk

Terjadi bila sirkuit pengganggu (disturbing circuit) searah dengan arah sirkuit terganggu (disturbed circuit).

Akibat adanya crosstalk maka pembicaraan dari satu pesawat telepon dapat didengar oleh pesawat telepon yang lain yang sebetulnya tidak boleh menerima. Karena itu perlu adanya pemahaman akan sistem operasional dan maintenance pada saluran telepon sehingga nantinya pengaruh crosstalk dapat dihilangkan.

- D. PENELAAHAN STUDI :
- a. Membahas mengenai karakteristik Crosstalk yang ada di saluran pelanggan.
  - b. Membandingkan adanya crosstalk bila informasi berupa analog ataupun digital.
  - c. Macam-macam crosstalk dilihat dari faktor-faktor obyektifitas dan subyektifitas.
  - d. Faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya, dan pengaruhnya terhadap sistem transmisi.

TUJUAN : Memahami karakteristik crosstalk sehingga dapat dipakai sebagai bahan acuan untuk meningkatkan kualitas informasi dengan jalan mengurangi terjadinya

crosstalk seminim mungkin.

Selain itu bisa diketahui adanya crosstalk serta mengukur besarnya crosstalk pada saluran pelanggan di tiap sambungan.

- F. LANGKAH-LANGKAH : 1. Studi Lapangan dan literatur  
2. Pengumpulan dan pengolahan data  
3. Penulisan dan pembahasan naskah  
4. Kesimpulan

G. JADWAL KEGIATAN :

KEGIATAN	BULAN KE					
	I	II	III	IV	V	VI
1						
2						
3						
4						

- H. RELEVANSI : Melalui studi ini diharapkan dapat memperdalam pengetahuan tentang karakteristik crosstalk, pengaruh dan faktor yang mempengaruhi terjadinya crosstalk sebagai bahan acuan komparatif bagi perencanaan pengukuran crosstalk yang ada di saluran pelanggan.

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP

NAMA : YETTY KUSUMAWATI  
TEMPAT LAHIR : MADIUN  
TANGGAL LAHIR : 29 DESEMBER 1969  
AGAMA : ISLAM  
NAMA AYAH : SOEJATNO  
NAMA IBU : MARIJATI  
ALAMAT : LET.JEND HARYONO 38 MADIUN

### RIWAYAT PENDIDIKAN

1. TK MASHITOH MADIUN : LULUS TAHUN 1976
2. SD. MI. ISLAMIAH MADIUN : LULUS TAHUN 1982
3. SMPN 1 MADIUN : LULUS TAHUN 1985
4. SMAN 1 MADIUN : LULUS TAHUN 1988
5. DITERIMA DI JURUSAN TEKNIK ELEKTRO ITS MELALUI SIPENMARU PADA TAHUN 1988 DENGAN NO POKOK 2882201100